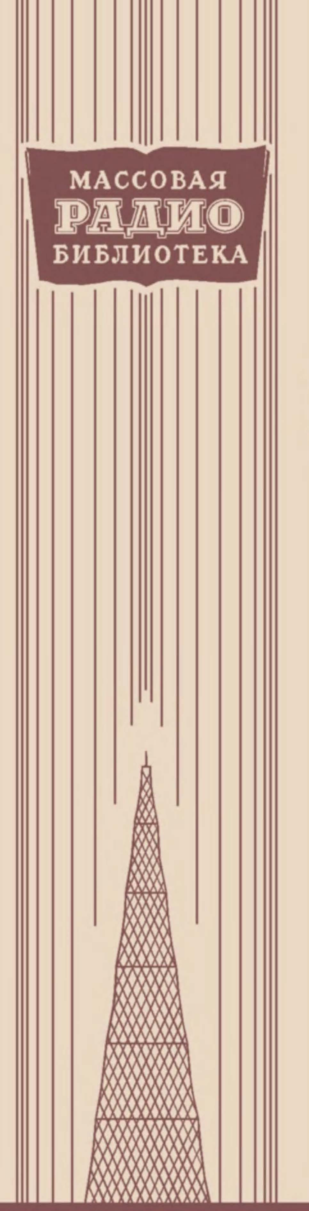
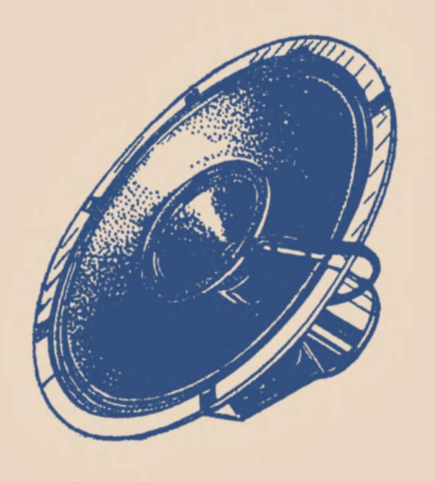


А. Г. ДОЛЬНИК

ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 291

А. Г. ДОЛЬНИК

ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Издание второе, переработанное



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1958 ЛЕНИНГРАД

В брошюре содержатся краткие сведения о физической природе звука и физиологии слуха, принципе действия, устройстве, характеристиках и особенностях различных громкоговорителей. Приводятся также рекомендации по использованию громкоговорителей и их ремонту.

Брошюра рассчитана на широкий круг радиолюбителей.

СОДЕРЖАНИЕ

Автор — *Дольник Анатолий Григорьевич*

ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Редактор *А. Г. Соболевский* Техн. редактор *К. П. Воронин*

Сдано в набор 7/VIII 1957 г. Подписано к печати 11/II 1958 г.
Т02207. Бумага 84×108[1]/[32] 3,3 печ. л. Уч.-изд. л. 3,8
Тираж 65 000 экз. Цена 1 р. 50 к. Заказ 437.

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Из всех электроакустических приборов наиболее широкое распространение имеют громкоговорители. Ими оснащаются радиоприемники, телевизоры, абонентские точки, студии радиовещания и звукозаписи, диспетчерские службы, залы, стадионы и т. д. Выпускается много разнообразных типов и конструкций громкоговорителей, а также ведутся разработки и освоение новых более совершенных конструкций.

Громкоговорители обладают рядом специфических особенностей, обусловливающих особые требования к размерам их внешних оформлений, конструкции и расположению в местах установки. От качественных показателей самого громкоговорителя и эффективности их использования во многом зависит качество звуковоспроизведения.

Для идеального звуковоспроизведения необходимо создать совершенно такое же звуковое поле, какое было перед микрофоном. Распределение и интенсивность (сила) звуковых волн в звуковом поле зависят как от акустической мощности, характеристики направленности и других свойств источника звука, так и от формы, размеров и свойств поверхностей, ограничивающих пространство (объем), в котором образуется звуковое поле. В закрытых помещениях вследствие большого числа отражений, происходящих во всех направлениях, звуковое поле значительно перемешано, а поэтому более однородно, чем на открытых пространствах. Кроме того, для достижения идентичности звуковых полей в месте звуковоспроизведения и перед микрофоном необходимо, чтобы взаимное расположение источников звука и слушателей, шум внутри помещения и т. д. были в обоих случаях одинаковы.

В настоящее время в связи с внедрением новой техники в радиовещании и звукозаписи (передатчики на УКВ с ЧМ, долгоиграющие пластинки, высококачественные магнитофоны и пр.) значительно расширяется рабочий диапазон звуковых частот, особенно в сторону высших, что способствует

повышению качества звучания. Это накладывает более жесткие условия на звуковоспроизводящие системы, которые должны обладать соответствующими параметрами. Достичь высокого качества звучания таких систем можно только в случае правильного выполнения всех звеньев конструкции, и особенно ее электроакустической части.

Для успешного решения этих задач в радиолюбительских конструкциях необходимо иметь представление о физической природе звука и физиологии человеческого слуха, на основе которых определяются качественные показатели звуковоспроизводящих систем.

ЗВУК И СЛУХ

Звук, который мы слышим, возникает в результате механических колебаний частиц окружающего нас воздуха. Образующиеся при этом звуковые колебания характеризуются прежде всего частотой, выражаемой в герцах (1 *гц* равен одному колебанию в секунду), и соответствующей этой частоте длиной волны, определяемой из соотношения

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

где c — скорость распространения колебаний (для воздуха принимается среднее значение $c = 340$ *м/сек*);
f — частота, *гц*;
λ — длина волны, *м*.

Наиболее часто встречающиеся музыкальные и речевые источники звуков создают колебания с частотами от 40 до 15 000 *гц*. Частота звука определяет высоту тона: при малой частоте звук обладает низким тоном, а при большой — высоким. Мы способны воспринимать звук, вызываемый только колебаниями, частота которых лежит в пределах от 20 *гц* до 15—16 *кгц* (усредненные данные).

Другой величиной, характеризующей звуковые колебания, является звуковое давление, измеряемое в барах (1 *бар* равен давлению в 1 дину на 1 *см*²), или же связанная с ним сила звука, измеряемая в ваттах на квадратный сантиметр (*вт/см*²). Наше ухо способно воспринимать как звуковое ощущение давления величиной от нескольких тысячных долей бара до сотен бар. Наиболее часто встречающиеся музыкальные и речевые источники звуков развивают давление в пределах от 0,0063 до 20 *бар*, что соответствует силе звука от $5 \cdot 10^{-14}$ до $5 \cdot 10^{-7}$ *вт/см*². Таким образом, наиболь-

шее изменение по давлению составляет 3 170 раз, а по силе звука 10^7 раз. Отношение максимального и минимального звуковых давлений, которые может создать какой-либо источник звука, называется динамическим диапазоном этого источника.

Минимальная сила звука, еще отмечаемая ухом в полной тишине, называется порогом слышимости. Последний зависит от частоты, причем область наибольшей чувствительности уха приходится на средние частоты (при 1 000 *гц* порог равен 10^{-16} *вт/см²*). Значительно меньшей чувствительностью ухо обладает на нижних (при 100 *гц* порог равен 10^{-12} *вт/см²*) и верхних частотах.

При очень большой силе звука ухо ощущает уже не звук, а боль. Уровень силы звука, при которой ощущение звука переходит в боль, называется порогом болевого ощущения. Этот порог мало зависит от частоты и имеет место при силе звука, равной примерно 10^{-4} *вт/см²* (около 120 *дб*).

Таким образом, на средних частотах ухо способно воспринимать звуковые колебания, отличающиеся по силе более чем в 10^{-12} раз. В области же нижних частот, например на частоте 50 *гц*, этот диапазон уменьшается до 10^7 раз. То же самое наблюдается на верхних частотах.

Субъективной оценкой силы звука является громкость, характеризующая величину слухового ощущения. Однако два тона одинаковой силы, но разной частоты вследствие неравномерной чувствительности уха к различным частотам вызывают ощущение неодинаковой громкости. Зависимость громкости звука от его силы подчиняется основному психофизическому закону, который устанавливает, что с изменением силы звука субъективное ощущение громкости изменяется пропорционально логарифму изменения силы звука. Отсюда становится понятной способность уха реагировать на звуки, отличающиеся по своей силе в огромное число раз. Поэтому для определения относительного изменения громкости удобно применять логарифмическую шкалу (шкалу децибел). Такой же шкалой пользуются для определения силы звука и величины звукового давления.

Анализ способности уха реагировать на громкость в зависимости от частоты и силы звука показывает, что только в пределе 500—5 000 *гц* громкость приблизительно соответствует силе звука. При уменьшении силы звука соотношения эти изменяются, причем ухудшается восприятие нижних и самых верхних частот.

Выше указывалось, что большинство источников звука создают колебания с частотами примерно от 40 до 15 000 *гц*, однако создать звуковоспроизводящую систему с такой полосой частот не всегда возможно. Поэтому допускается сужение этого диапазона до пределов, при которых искажения еще мало заметны.

В результате многих экспериментов была разработана и предложена следующая классификация звуковоспроизводящих систем по ширине пропускаемого диапазона частот.

Высший класс — от 30 до 13 000 *гц* (неискаженное воспроизведение).

Первый класс — от 50—80 до 10 000—8 000 *гц* (высококачественное воспроизведение).

Второй класс — от 100 до 5 000 *гц* (воспроизведение среднего качества).

Третий класс — от 300 до 2 500 *гц* (воспроизведение низкого качества).

В пределах заданного диапазона усилительная и акустическая аппаратура обычно не обладает равномерной (плоско-линейной) частотной характеристикой, т. е. звуки разных частот усиливаются и воспроизводятся ею неравномерно. Допустимая степень неравномерности частотной характеристики устанавливается на основании экспериментальных данных.

Наряду с обеспечением соответствующего частотного диапазона к звуковоспроизводящей системе предъявляется требование сохранения нормального динамического диапазона, т. е. должно быть обеспечено нормальное звучание как самых незначительных по мощности звуков (шопот, пианиссимо в музыке и т. п.), так и наиболее мощных, возникающих при исполнении оркестровых и хоровых произведений. Динамический диапазон различных музыкальных произведений, начиная от сольных голосовых и инструментальных и кончая многочисленными оркестровыми и хоровыми, весьма сильно изменяется. Наибольшим динамическим диапазоном обладает симфонический оркестр: отношение наибольшей мощности (силы звука) всего оркестра при самом громком звучании к минимальной мощности скрипки в сольном исполнении достигает 10^7 раз, что соответствует 70 *дб*. Воспроизведение такого большого динамического диапазона сопряжено с значительными трудностями. Верхний предел передаваемых звуковых давлений ограничивается амплитудными характеристиками звуковоспроизводящей аппаратуры, а нижний — шумами, которыми сопровождает-

ся всякая передача (фоном питающего напряжения, шумами ламп и микрофонов, шумами в помещении и т. п.) Для восприятия самых слабых звуков необходимо, чтобы их уровень был выше уровня шумов не менее чем на 15 *дб*. Так, если уровень шума в жилом помещении, где установлен громкоговоритель, составляет 30 *дб*, то минимальный уровень передачи должен быть около 45 *дб*. Тогда при передаче большого оркестра максимальный уровень достигает 45+70=115 *дб*. Такая громкость, близкая к болевому порогу в 120 *дб*, невыносима для слушателей. Поэтому в передающих и звукозаписывающих системах применяется искусственное сужение динамического диапазона.

Исходя из акустических и технико-экономических условий, установлены следующие нормы динамического диапазона: радиовещание и грамзапись 30—40 *дб*; магнитная запись 60 *дб*, вещание по кабелю 50 *дб*, местное звукоусиление 65 *дб*.

Всякий источник звуковых колебаний обладает направленностью. Чем больше по сравнению с длиной волны

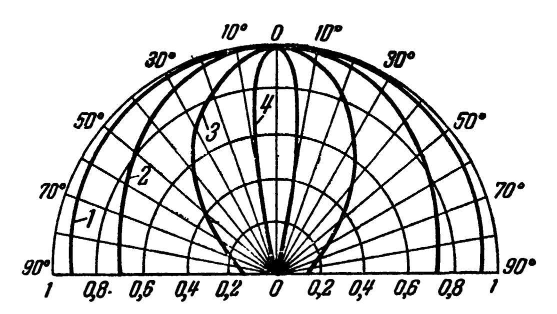


Рис. 1. Теоретические характеристики направленности колеблющегося диска диаметром 21 *см*, помещенного в вырезе очень большого экрана при различных частотах.

1 — при частоте 400 *гц*; *2* — при 800 *гц*; *3* — при 1 600 *гц*; *4* — при 8 000 *гц*.

излучающая поверхность источника звука, тем острее направленность излучения. Если длина излучаемой звуковой волны велика (нижние частоты), а размеры излучателя меньше этой длины, то источник звука не обладает направленностью; на верхних же частотах (при малой длине волны) направленность обостряется. На рис. 1 даны теоретические характеристики направленности громкоговорителя диаметром 21 *см*, помещенного в вырезе очень большого экрана. Как видно, на средних частотах (1 600 *гц*) имеется

уже явная направленность, которая на верхних частотах (8 000 *гц*) становится очень острой.

Речь и музыка представляют собой сочетание разнообразных по частоте и силе звуков, все время изменяющихся в процессе звучания. Даже звук, произведенный голосом певца или инструментом и воспринимаемый как тон определенной высоты, на самом деле содержит ряд дополнительных тонов (различных по силе звука), частоты которых в 2, 3, 4 и т. д. раз больше основной частоты звука. Эти дополнительные тона называются гармониками или обертонами. Их относительной силой обусловливается тембр звука. Тональное же восприятие звука, т. е. его высоту, обусловливает самая низкая частота, входящая в такое сложное колебание.

При воспроизведении звуковоспроизводящей системой чистого (синусоидального) тона почти всегда возникают паразитные высшие гармоники, которых нет в первичном источнике звука. В реальной же передаче участвуют сложные созвучия, состоящие из большего числа тонов, поэтому, кроме гармоник всех этих тонов, возможно возникновение и так называемых комбинационных частот, которые представляют собой суммарные и разностные частоты всех тонов и их гармоник попарно. Эти новые частотные составляющие появляются, когда в звуковоспроизводящей системе при больших уровнях усиления возникают нелинейные искажения, воспринимаемые как «нечистое» звучание (с хрипением, дребезжанием и т. п.).

Степень нелинейных искажений характеризуется коэффициентом гармоник, показывающим отношение (в процентах) среднегеометрической суммы амплитуд гармоник к амплитуде основной частоты. Этот коэффициент определяется при подаче синусоидального напряжения и поэтому не позволяет судить о характере и величине нелинейных искажений при одновременном воспроизведении нескольких частот, однако он дает возможность сравнивать качество аппаратуры. Допустимая величина коэффициента гармоник на нижних частотах может быть значительно больше, чем на верхних.

Таким образом, основными параметрами электроакустической аппаратуры являются диапазон частот, динамический диапазон и величина нелинейных искажений. Что же касается характеристики направленности, которая определяет зависимость качества звуковоспроизведения от положения слушателя перед установкой, то она обычно не за-

дается. Но при конструировании аппаратуры, в особенности предназначенной для озвучения больших помещений и открытых площадей, принимают меры для получения широкой характеристики направленности во всем диапазоне частот.

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

В зависимости от способа преобразования энергии токов звуковой частоты в энергию звукового излучения, громкоговорители разделяются на электромагнитные, электродинамические, электростатические и пьезоэлектрические, а в зависимости от способа излучения звуковых колебаний — на громкоговорители прямого излучения и рупорные. Громкоговорители прямого излучения имеют диафрагмы (диффузоры), излучающие звук непосредственно в окружающую воздушную среду, диафрагмы рупорных громкоговорителей излучают звук через рупоры различных форм. Электродинамические громкоговорители, кроме того, разделяются на громкоговорители с постоянными магнитами и с электромагнитами (с подмагничиванием).

Акустические качества громкоговорителей с постоянным магнитом и с электромагнитом, рассчитанные на равную мощность, примерно одинаковы. Однако отсутствие обмотки возбуждения дает большую надежность в эксплуатации, экономит электроэнергию и обеспечивает работу в более легком тепловом режиме при стабильной магнитной индукции в зазоре (в электромагнитной системе индукция изменяется при колебаниях питающего напряжения). Поэтому в настоящее время громкоговорители на разные мощности (от десятых долей до нескольких десятков вольт-ампер) выпускаются только с постоянными магнитами.

Громкоговорители всех видов характеризуются показателями, основными из которых являются номинальная мощность, отдача или чувствительность, частотная характеристика (частотные или линейные искажения), допустимые нелинейные (амплитудные) искажения, направленность излучения и входное сопротивление.

Номинальная мощность. Максимальная величина электрической мощности синусоидального тока звуковой частоты, подводимой к громкоговорителю, при которой нелинейные искажения не превышают допустимой для него величины (обычно 7—10% на частотах 200—400 *гц*), называется номинальной мощностью громкоговорителя и выражается

в вольт-амперах (*ва*). Однако в реальных условиях подводимый к громкоговорителю переменный ток имеет очень сложную форму. Он содержит кратковременные пики, при которых к громкоговорителю подводится пиковая мощность, значительно превышающая номинальную. При этом не должна нарушаться механическая и тепловая эксплуатационная прочность громкоговорителя.

Отдача и чувствительность. Отношение излучаемой акустической мощности P_a к подводимой электрической мощности P определяет отдачу или к. п. д. громкоговорителя. Это отношение характеризует эффективность преобразования электрических колебаний в звуковые.

Чтобы точно определить отдачу, нужны специальная обстановка и сложная аппаратура. Поэтому эффективность громкоговорителя чаще оценивают не по отдаче, а по так называемой относительной чувствительности E (в барах на вольт), которая легче поддается измерению. Она определяется как отношение звукового давления p (в барах) в некоторой точке неограниченного звукового поля, расположенной на рабочей оси громкоговорителя, к напряжению U (в вольтах) на зажимах громкоговорителя для данной частоты

$$E=\frac{p}{U}.$$

Величина относительной чувствительности не определяет эффективность работы громкоговорителей, имеющих различные входные сопротивления. Как известно, между мощностью P, напряжением U и полным сопротивлением Z существует следующая зависимость:

$$P=\frac{U^2}{Z}.$$

Вследствие этого два громкоговорителя, обладающие одинаковой относительной чувствительностью, но различными сопротивлениями, хотя и создают одинаковое давление в точке измерения, но потребляют разную мощность и их нельзя сравнивать по чувствительности. Эффективнее работает громкоговоритель с большим сопротивлением и, следовательно, потребляющий меньшую мощность. Поэтому более полная оценка различных громкоговорителей возможна тогда, когда берется отношение звукового давления p к квадратному корню из подводимой электрической мощно-

сти P, так как звуковая мощность пропорциональна квадрату звукового давления

$$E_{абс} = \frac{p}{\sqrt{P}}.$$

Получаемая из этой формулы величина гораздо полнее характеризует эффективность громкоговорителя и дает возможность сравнивать между собой различные громкоговорители независимо от их электрического сопротивления. Величина $E_{абс}$ называется абсолютной чувствительностью и измеряется в *бар*/$\sqrt{вт}$. С относительной чувствительностью E она связана соотношением

$$E_{абс} = \frac{p}{U}\sqrt{Z} = E\sqrt{Z}.$$

Абсолютная чувствительность, определяемая для стандартных условий измерений обычно на рабочей оси громкоговорителя на расстоянии 1 *м* от центра внешней плоскости диффузора или устья рупора, называется стандартной осевой абсолютной чувствительностью.

Для единства измерений и удобства сравнения между собой различных громкоговорителей определяется так называемое стандартное звуковое давление, которое измеряется на рабочей оси громкоговорителя, расположенного в помещении при подведении к нему напряжения, соответствующего 0,1 его номинальной мощности при частоте 1 000 *гц*, а при испытаниях на открытом воздухе — номинальной мощности (но не более 5 *ва*). Измерения производятся для громкоговорителей с наибольшими размерами излучающей поверхности до 400 *мм* на расстоянии 1 *м*, при размерах до 1 000 *мм* — на расстоянии 2,5 *м* и при размерах более 1 000 *мм* — на расстоянии 5 *м*. Результаты измерения во всех случаях приводятся к расстоянию в 1 *м*, если эти расстояния специально не оговариваются.

Среднее стандартное звуковое давление громкоговорителя определяется как среднеарифметическое из значений стандартного звукового давления, измеренного для ряда частот, расположенных внутри номинального частотного диапазона, установленного техническими условиями на испытываемый тип громкоговорителя.

Частотная характеристика. Зависимость чувствительности или стандартного звукового давления от частоты выражается частотной характеристикой громкоговорителя. Чем

более широкий частотный диапазон охватывается частотной характеристикой и чем она ровнее, тем лучше громкоговоритель.

Неравномерность частотной характеристики определяется разностью уровней наибольшего и наименьшего значений величин чувствительности или стандартного звукового давления и выражается в децибелах. В некоторых случаях полученное число делят на два или определяют разность наибольшего и среднего, а также среднего и наименьшего уровней. При этом значение неравномерности будет со знаком ± (плюс, минус).

Нелинейные искажения. Амплитудная характеристика, выражающая зависимость звукового давления, развиваемого громкоговорителем, от величины воздействующей на него электрической мощности, определяет вносимые громкоговорителем нелинейные искажения. Если эта характеристика линейна на всех частотах в пределах передаваемого динамического диапазона, то форма звуковых колебаний будет соответствовать форме электрических колебаний, подводимых к громкоговорителю. В противном случае форма звуковых колебаний искажается (возникают нелинейные искажения), причем на нижних частотах коэффициент гармоник обычно во много раз больше, чем на средних и верхних.

При воспроизведении речи и музыки подводимая мощность распределяется так, что на область самых нижних и верхних частот приходится лишь небольшая часть общей пиковой мощности (пиковые мощности для симфонической музыки приходятся на частоты от 250 до 500 *гц*, а для речи — от 500 до 1 000 *гц*), поэтому повышенный коэффициент гармоник в области нижних частот мало заметен, и на частотах 50—100 *гц* (при номинальной мощности) допустим коэффициент гармоник порядка 10—20%. Если же громкоговоритель имеет частотную характеристику, суженную со стороны верхних частот до 4 000—5 000 *гц*, то указанное допустимое значение коэффициента гармоник может быть в 1,5—2 раза бо́льшим.

В громкоговорителях прямого излучения (диффузорных) наблюдаются искажения, обусловленные частотной модуляцией. Эти искажения, не связанные с нелинейностью, возникают при одновременном воспроизведении колебаний двух частот, из которых одна значительно выше другой. При этом высокочастотные составляющие искажаются вследствие больших колебательных скоростей диффузора на нижних частотах (своеобразный эффект Допплера).

Направленность излучения. Зависимость развиваемого громкоговорителем звукового давления на данной частоте в точке пространства, находящейся на определенном расстоянии от центра внешней поверхности диффузородержателя или устья рупора громкоговорителя, от угла между рабочей осью громкоговорителя и направлением на эту точку называется характеристикой направленности.

Эта характеристика имеет особо важное значение для громкоговорителей, работающих на открытых пространствах, где нет отражения звуков. При этом условия слышимости определяются только прямым звуком, приходящим от громкоговорителя. В закрытых помещениях отражения уменьшают эту зависимость, однако угол направленности излучения важен и здесь для обеспечения равномерного озвучения помещений, особенно если это большие аудитории.

Входное сопротивление. Для согласования выходного каскада усилителя с громкоговорителем, являющимся для него нагрузкой, необходимо знать величину полного входного сопротивления громкоговорителя и его зависимость от ча-

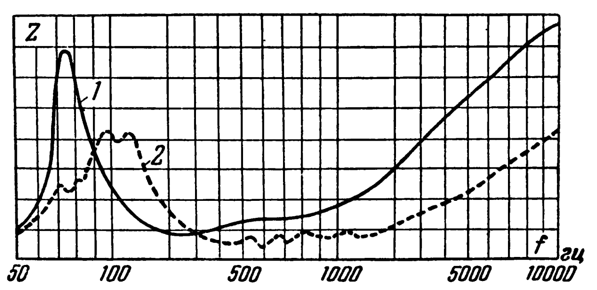


Рис. 2. Частотные характеристики входного сопротивления электродинамических громкоговорителей прямого излучения (диффузорных).
1 — с упругим подвесом; *2* — с подвесом малой упругости.

стоты. По такой характеристике можно косвенно судить о свойствах громкоговорителя, так как она позволяет определить частоту резонанса подвижной системы, а также качество ее подвеса. На рис. 2 приведены частотные характеристики полного сопротивления двух диффузорных громкоговорителей, имеющих хороший (кривая *1*) и плохой (кривая *2*) подвесы.

Входным или полным электрическим сопротивлением громкоговорителя называют сопротивление синусоидальному переменному току, измеренное на зажимах громкоговорителя

или на входных зажимах дополнительных устройств (согласующий трансформатор, разделительные фильтры и т. п.), если они являются неотъемлемой частью конструкции громкоговорителя или агрегата. В последнем случае говорят о входном сопротивлении агрегата.

Входное сопротивление громкоговорителя складывается из активной и реактивной составляющих. Последняя в зависимости от типа громкоговорителя может быть индуктивной (электродинамические и электромагнитные громкоговорители) или емкостной (электростатические и пьезоэлектрические громкоговорители). Соотношение этих составляющих определяет зависимость изменения входного сопротивления от частоты переменного тока, подаваемого на зажимы громкоговорителя. Менее всего изменяется от частоты входное сопротивление электродинамического громкоговорителя, работающего на рупор или в фазоинверторе. Громкоговорители других типов имеют более зависимое от частоты входное сопротивление, и для их нормальной работы требуется применение в выходных каскадах корректирующих элементов.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

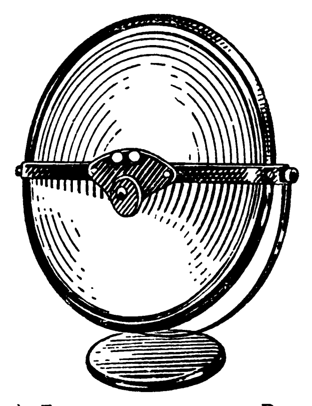
Работа электромагнитного громкоговорителя основана на взаимодействии якоря (из мягкой или специальной стали) с переменным магнитным полем, создаваемым током звуковой частоты, протекающим через обмотку катушки и накладываемым на постоянное магнитное поле магнита, во много раз превышающее переменное. Обладая сравнительно узкой полосой воспроизводимых частот и значительными частотными и нелинейными искажениями, особенно на низких частотах, а также большой зависимостью полного сопротивления от частоты, электромагнитные громкоговорители в настоящее время не имеют широкого применения.

Рассмотрим наиболее известный электромагнитный громкоговоритель типа «Рекорд» (рис. 3).

В этом громкоговорителе стальной якорь *2* помещается между двумя одноименными полюсами двух подковообразных магнитов *1* и Ш-образными полюсными наконечниками *3*, зажатыми между другими полюсами магнитов. На полюсные наконечники надеты катушки *4* (верхняя катушка не изображена). При помощи регулировочного винта *5*, упирающегося в пружину *6*, приклепанную к якорю, последний устанавливается в промежутке между полюсными наконечниками в нейтральное положение. Катушки соединяются

между собой так, чтобы магнитные потоки, создаваемые ими, складывались. Тогда при прохождении через катушки тока звуковой частоты якорь будет колебаться и передавать звуковые колебания диффузору *7*, с которым он связан иглой *8*.

Громкоговоритель «Рекорд» обладает следующими данными: частотная характеристика в диапазоне 250—3 000 *гц*



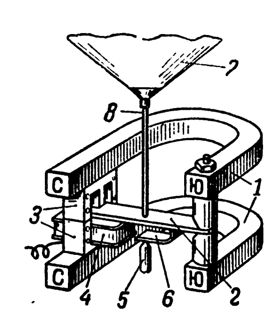


Рис. 3. Громкоговоритель „Рекорд" и устройство его механизма.
1 — магниты; *2* — якорь; *3* — полюсные наконечники; *4*—катушка; *5* —регулировочный винт; *6* — пружина; *7* — диффузор; *8* — игла.

имеет неравномерность 20 *дб*; коэффициент гармоник на частоте 400 *гц* достигает 15%; потребляемая мощность лежит в пределах 20—100 *мва*; звуковое давление на расстоянии 1 *м* по оси в диапазоне 200—2 000 *гц* составляет 2—3 *бар* при подведении мощности в 100 *мва*.

Известна также модернизированная модель громко-

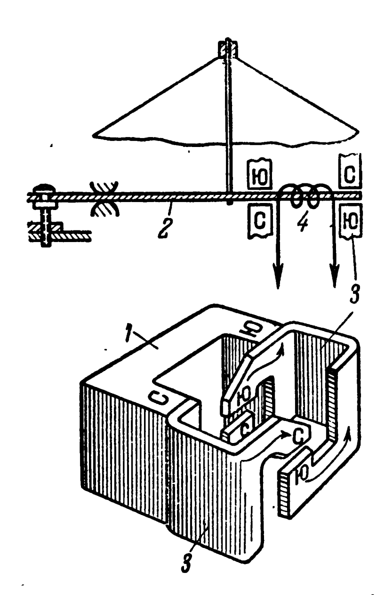


Рис. 4. Схема устройства модернизированного громкоговорителя „Рекорд" и конструкция магнита с полюсными наконечниками.
1 — магнит; *2* — якорь; *3* — полюсные наконечники; *4* — катушка.

говорителя «Рекорд». Внешний вид его мало чем отличается от прежней модели, но механизм коренным образом переработан (рис. 4). В нем применен магнит *1* из сплава АЛНИ. Якорь *2*, расположенный в середине между полюсными наконечниками *3* и внутри катушки *4*, находится в равновесии, так как силы, притягивающие его к полюсам, одинаковы. Конструкция полюсных наконечников такова, что этот поток в одном зазоре проходит сверху вниз, а в другом снизу вверх. При прохождении по катушке тока звуковой частоты во время одного полупериода суммарный магнитный поток в одной паре зазоров увеличивается, а в другой уменьшается. Во время другого полупериода происходит обратное явление. В результате якорь совершает колебания с частотой тока, протекающего через катушку громкоговорителя.

Громкоговорители «Рекорд» снабжены регулятором громкости, включенным последовательно с катушкой и представляющим одно конструктивное целое с механизмом. Ось регулятора громкости и регулировочный винт, необходимый для правильной установки якоря в зазоре, выведены наружу через пластину, на которой собран механизм громкоговорителя.

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Принцип действия электростатического (конденсаторного) громкоговорителя основан на явлении электростатического взаимодействия двух заряженных тел.

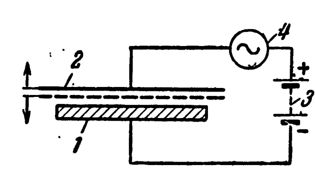


Рис. 5. Схема и принцип действия электростатического громкоговорителя.

1 — неподвижный электрод; *2* — подвижной электрод (мембрана); *3* — источник поляризующего напряжения; *4* — источник звукового напряжения.

Электростатический громкоговоритель представляет собой конденсатор (рис. 5), имеющий две пластины (электроды) *1* и *2*, нижняя из которых неподвижная и может быть массивной, а верхняя, легкая и подвижная, является излучателем-мембраной. Для большей силы взаимодействия расстояние между ними должно быть минимальным. Если к пластинам такого конденсатора подвести постоянное напряжение *3*, то верхняя пластина *2* притянется к нижней *1*. Это постоянное напряжение называется поляризующим.

Если теперь на пластины конденсатора подать переменное напряжение звуковой частоты *4*, то оно, накладываясь

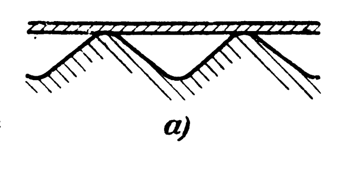
на поляризующее напряжение, либо увеличит это напряжение (если напряжения совпадают по знаку), либо уменьшит его, т. е. заставит пластину *2* (мембрану) колебаться со звуковой частотой.

Роль поляризующего напряжения в электростатических громкоговорителях аналогична роли постоянного магнита в электромагнитных системах, где в зависимости от направления тока в обмотке магнит сильнее или слабее притягивает мембрану.

Отсутствие поляризующего напряжения приводит к резкому уменьшению чувствительности, удвоению подводимой частоты и искажениям.

Большим достоинством электростатической системы является ее простота и то, что движущая сила действует непосредственно на мембрану без каких-либо промежуточных устройств. Но практическое осуществление таких конструкций, имеющих хорошую чувствительность при малых нелинейных искажениях, встречает ряд серьезных принципиальных и технологических трудностей. Качество работы такого громкоговорителя во многом зависит от материала и толщины диэлектрика между пластинами и от формы рабочей поверхности неподвижного электрода.

Чувствительность электростатического громкоговорителя тем выше, чем меньше расстояние между электродами и чем выше поляризующее напряжение. Поэтому подвижной электрод (мембрана) часто выполняют из эластичного диэлектрика в виде пленки, покрывая наружную ее сторону электропроводящим слоем. Поверхность неподвижного электрода делают гофрированной (рис. 6,*а*) или с ребрами. Когда на такую систему подается поляризующее напряжение, мембрана притягивается к неподвижному электроду и обтягивает его (рис. 6,*б*). При этом свободные участки мембраны между гофром могут колебаться под действием звукового напряжения.



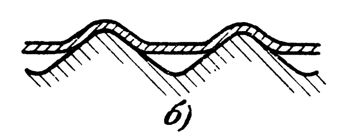


Рис. 6. Схема устройства и принцип действия электростатического громкоговорителя с гофрированным электродом.

Во избежание значительного демпфирования мембраны воздушным слоем, образующимся под мембраной, в неподвижном электроде делают отверстия или щели, подбирая

количество их и размеры так, чтобы незначительно уменьшить рабочую поверхность неподвижного электрода и осуществить такое демпфирование мембраны, которое позволит улучшить частотную характеристику громкоговорителя. В качестве неподвижного электрода применяется и металлическая сетка.

Первые конструкции электростатических громкоговорителей были разработаны свыше 25 лет назад и до последнего времени не получили распространения из-за недостаточной механической и электрической прочности, критичности к перегрузкам, плохой стабильности и невозможности обеспечить удовлетворительную частотную характеристику в широкой полосе звуковых частот.

В последнее время в связи с увеличением ассортимента пластиков, обладающих высокой электрической прочностью и соответствующими механическими характеристиками (полистироловые и полиэтиленовые композиции), удалось создать конструкции электростатических громкоговорителей достаточно высокого качества. Такие громкоговорители («пищалки») в основном используются для воспроизведения верхних звуковых частот в двухполосных системах звуковоспроизведения, так как малая масса их мембраны обеспечивает как раз наиболее эффективную работу громкоговорителя в области частот от 5—7 до 20 *кгц*.

В качестве такой «пищалки» применяются весьма простые по устройству конденсаторные громкоговорители типов LSH-75 и LSH-100, выпускаемые за рубежом. Общий вид этих громкоговорителей приведен на рис. 7. Неподвижным электродом и одновременно корпусом служит специальная стальная сетка толщиной 0,5 *мм* и имеющая на 1 $см^2$

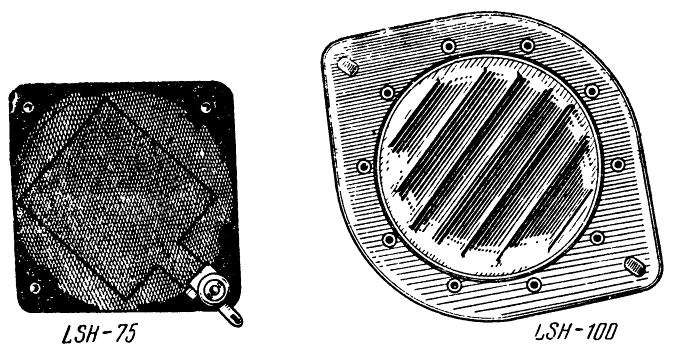


Рис. 7. Электростатические громкоговорители.

64 отверстия диаметром 0,5 *мм*, в которой выдавливается углубление диаметром 68 *мм* и глубиной 4 *мм*. В это углубление вкладывается мембрана (подвижной электрод) в виде куска пленки, наружная сторона которой металлизирована (толщина пленки со слоем металлизации — 25 *мк*). На проводящий слой накладывается прокладка (диаметром 67 *мм* и толщиной 7 *мм*) из ваты или фильца, служащая демпфером. Вся конструкция при помощи отгибающихся лепестков сетки неподвижного электрода укрепляется на гетинаксовой пластине толщиной 1,5 *мм*. Выводами служат один из этих лепестков и полоска фольги, соприкасающаяся с металлизированной поверхностью мембраны. Громкоговоритель типа LSH-100 отличается от LSH-75 габаритами и внешним оформлением. Основные данные этих громкоговорителей приведены в табл. 1. Они удовлетворительно работают в области 6—20 *кгц*, но имеют неширокую характеристику направленности (особенно на частотах выше 10 *кгц*). Поэтому желательно применять в приемнике не менее двух таких громкоговорителей.

Таблица 1

Основные данные	Громкоговорители	
	LSH-75	LSH-100
Диапазон частоты, *гц*	6 000—20 000	6 000—20 000
Неравномерность частотной характеристики, *дб*	8	8
Среднее звуковое давление при подводимой мощности 0,1 *ва*, *бар*	3,3	—
Статическая емкость, *пф*	800	1 100
Напряжение поляризации, *в*	300	300
Максимальное напряжение звуковой частоты, *в*	60	60
Габариты, *мм*	75×75×6,5	127×101×19
Вес, *г*	30	90

В американских моделях приемников применяются более сложные системы электростатических громкоговорителей-пищалок. В одной из таких систем (рис. 8) неподвижным электродом служит перфорированный алюминиевый полуцилиндр диаметром 49 *мм* (с дугой 150°) и длиной около 200 *мм*. В нем выдавлено наружу 17 продольных ребер (параллельных его оси) высотой около 50 *мк* каждое. Эти

ребра образуют зазоры между неподвижным электродом и мембраной, обеспечивая ей подвижность. Мембрана выполнена в виде рукава из пленки полистера толщиной около 13 *мк*; наружная ее сторона покрыта тончайшим слоем золота (методом катодного распыления). Рукав надевается на полуцилиндр и обтягивается по его ребристой наружной поверхности металлической полоской, которая прикрепляется к внутренней поверхности полуцилиндра двумя винтами. Рукав образует мембрану из 16 узких прямоугольных граней.

Колебательная система громкоговорителя обладает весьма малой массой, что обеспечивает излучение самых высоких частот. Частотная характеристика громкоговорителя достаточно равномерна в полосе от 7 до 20 *кгц*, а характеристика направленности близка к 180°. Громкоговоритель имеет статическую емкость порядка 3 000 *пф*. Величина поляризующего напряжения и максимальное напряжение звуковой частоты такие же, как и у громкоговорителей типа LSH.

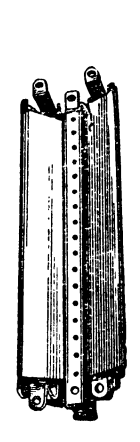
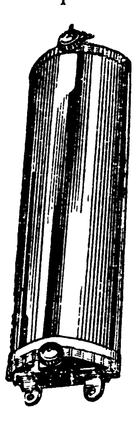



Рис. 8. Электростатический громкоговоритель с широкой характеристикой направленности.

Схемы включения электростатических громкоговорителей в однотактный и двухтактный выходные каскады показаны на рис. 9. В качестве поляризующего напряжения здесь используется анодное напряжение приемника или усилителя. Разделительным фильтром, защищающим электростатический громкоговоритель от колебаний низких частот, является цепь *RC*. Схема включения американской модели показана на рис. 9,*в*; в ней применяется более сложный разделительный фильтр, состоящий из емкости *C* и индуктивности *L*.

Описанные конструкции электростатических громкоговорителей весьма критичны к перегрузкам, вызывающим возникновение нелинейных искажений и даже пробой пленки мембраны. Следует указать, что величина поляризующего напряжения не должна быть меньше или больше номинальной. В первом случае это приводит к уменьшению силы

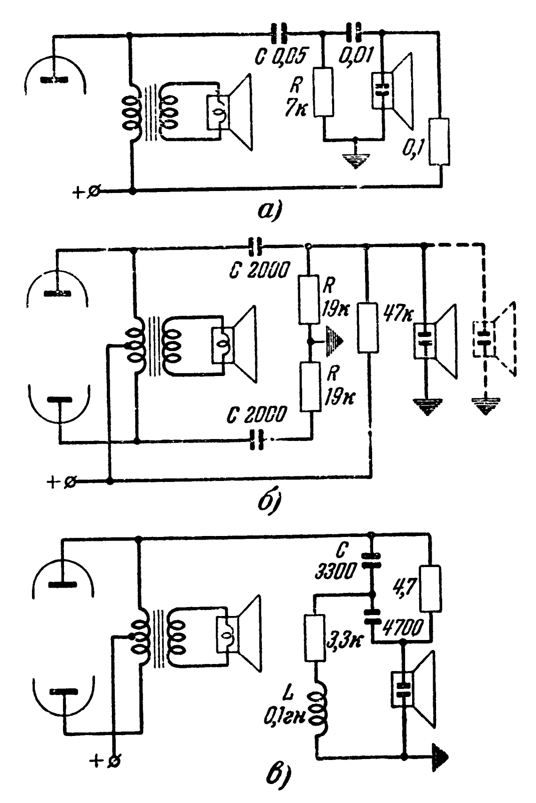


Рис. 9. Схемы включения электростатических громкоговорителей.
а — в однотактном выходном каскаде; *б* — в двухтактном выходном каскаде; *в* — со сложным разделительным фильтром.

взаимодействия электродов и понижению чувствительности. Во втором случае, помимо возможного пробоя мембраны, происходит также уменьшение чувствительности и, кроме того, увеличиваются нелинейные искажения. Это объясняется тем, что увеличение силы взаимодействия приводит к более плотному обтягиванию мембраной подвижного электрода.

Более совершенной является симметричная или дифференциальная конструкция электростатического громкоговорителя, где между двух перфорированных неподвижных электродов помещен третий электрод — мембрана. Такая система требует очень высокого поляризующего напряжения (до нескольких киловольт). Существуют отдельные образцы таких громкоговорителей большего размера с рав-

номерной частотной характеристикой, охватывающей весь диапазон звуковых частот при незначительных нелинейных искажениях. Однако такие громкоговорители сложны в производстве и дороги, а поэтому находят применение лишь в акустических измерительных устройствах.

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Пьезоэлектрический эффект выражается в том, что при деформации некоторых кристаллов (например, кварца) на их поверхности возникают электрические заряды, величина которых пропорциональна деформирующей силе. Этот эффект — обратимый, т. е. если к поверхности кристалла приложить электрическое поле, то оно вызывает деформацию кристалла тем бо́льшую, чем больше это поле.

Кроме кварца, пьезоэлектрическим эффектом обладают естественные кристаллы турмалина, а также и ряд синтетических, специально выращиваемых кристаллов, к которым относятся сегнетовая соль, фосфат аммония и другие. В настоящее время разрабатываются специальные керамики, которые после воздействия на них сильного постоянного электростатического поля (предварительная поляризация) обладают устойчивым пьезоэффектом.

В электроакустической аппаратуре чаще всего применяется сегнетовая соль (двойная соль калия и натрия винной кислоты), обладающая наибольшим пьезоэлектрическим эффектом. Кристаллы сегнетовой соли имеют форму 12-гранной призмы довольно больших размеров. В различных взаимно-перпендикулярных направлениях, являющихся основными кристаллографическими осями, кристалл обладает различными пьезоэлектрическими свойствами. В направлении одной из этих осей, называемой электрической, пьезоэффект получается наибольший, поэтому в качестве рабочего пьезоэлемента используется пластина, вырезанная перпендикулярно этой оси.

В практике применяются системы из двух пластин или брусков, называемых биморфными элементами (биморфами). Эти пластины склеиваются между собой специальным клеем так, что при подведении к ним электрического напряжения они в зависимости от приложенной полярности напряжения изгибаются в ту или другую сторону (рис. 10).

Пластины, из которых образуется пьезоэлемент, могут соединяться последовательно или параллельно. При последовательном соединении пластин выводами служат две наружные обкладки, а при параллельном — внутренняя

(общая для обеих пластин) и соединенные вместе наружные обкладки. Биморфный элемент, соединенный последовательно, имеет вчетверо меньшую емкость и требует вдвое большего напряжения, чем соединенный параллельно. В пьезоэлектрических громкоговорителях чаще всего применяется параллельное соединение пластин. Внутреннее электрическое сопротивление пьезоэлектрического громкоговорителя определяется его емкостью, величина которой лежит в пределах 2 000—4 000 *пф*.

Пьезоэлектрические громкоговорители из сегнетовой соли обладают существенными недостатками. Кристаллы сегнетовой соли весьма гигроскопичны, поэтому пьезоэлементы должны быть надежно защищены от влаги. Кроме того, при температуре 40—46° С наблюдается падение чувствительности громкоговорителей, причем после длительного воздействия такой температуры чувствительность не восстанавливается. При более высокой температуре (+53° С) происходит выделение кристаллизационной воды (появляется белый налет) и разрушение кристалла, а при температуре +63° С сегнетовая соль плавится.

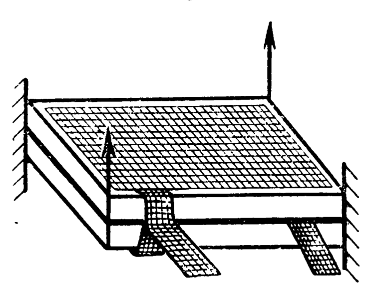


Рис. 10. Биморфный пьезоэлемент.

Таким образом, сегнетовые громкоговорители должны предохраняться и от перегрева. Если учесть еще и хрупкость кристаллов таких громкоговорителей, то становится понятным их ограниченное применение.

В настоящее время начинают применяться другие пьезоэлектрические материалы, главным образом специальные керамики, на основе которых создаются пьезоэлектрические громкоговорители, обладающие высокими механическими и электроакустическими качествами. Особенно перспективно создание таких громкоговорителей для воспроизведения верхних звуковых частот при двухполосном усилении («пищалки»).

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ ПРЯМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Электродинамические громкоговорители прямого излучения являются в настоящее время самыми лучшими в отношении качества воспроизведения, а поэтому и самыми рас-

пространенными. Применение в таких громкоговорителях постоянных магнитов из сплавов, обладающих высокими магнитными свойствами, позволило использовать их не только в сетевых, но и в батарейных приемниках, а также и на радиотрансляционных сетях.

Однако и электродинамические громкоговорители имеют ряд существенных недостатков: они обладают малым к. п. д., вносят существенные частотные искажения, а их характеристики направленности зависят от частоты.

Электродинамический громкоговоритель (рис. 11) работает следующим образом. Переменный ток, протекая через звуковую катушку, образует переменное магнитное поле, которое, взаимодействуя с постоянным полем магнита, заставляет колебаться звуковую катушку и связанный с ней

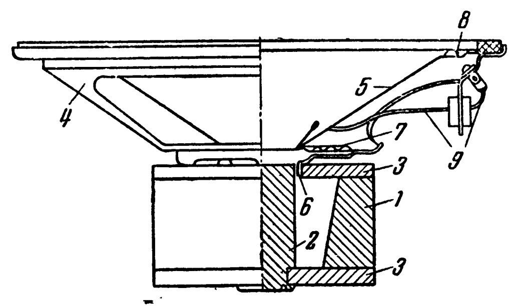


Рис. 11. Устройство электродинамического громкоговорителя прямого излучения (диффузорного).

1 — кольцевой магнит; 2 — керн; 3 — фланцы; 4 — диффузородержатель; 5 — диффузор; 6 — звуковая катушка; 7 — центрирующая шайба; 8 — воротник диффузора (гофр); 9 — выводы звуковой катушки.

диффузор, излучающий в окружающее пространство звуковые волны. Амплитуда колебаний тем больше, чем сильнее постоянное и переменное магнитные поля.

Электродинамические громкоговорители подразделяются на маломощные, с номинальной мощностью до нескольких вольт-ампер и мощные — до 10—15 *ва*.

Основными узлами электродинамического громкоговорителя прямого излучения являются звуковая катушка, диффузор и магнитная система.

Звуковая катушка. Коэффициент полезного действия электродинамического громкоговорителя тем больше, чем больше провода помещено в рабочем зазоре магнитной цепи. Поэтому звуковую катушку обычно наматывают виток к витку медным проводом диаметром 0,12—0,20 *мм* в эмалевой изоляции. Более тонкие провода (диаметром 0,05—

0,06 *мм*) применяются редко, так как при этом нерационально используется объем зазора (при большом числе витков изоляция провода занимает относительно много места). Кроме того, увеличение электрического сопротивления обмотки заставляет подводить к звуковой катушке большее напряжение, что повышает требования к изоляции проводов. Наконец, катушку из более толстого провода, имеющую мало витков, легче изготовить; при этом и выходной трансформатор получается более простым в изготовлении.

Однако некоторые выходные каскады рассчитываются под нагрузку в 50—200 *ом* и не имеют поэтому выходных трансформаторов (например, при применении катодных повторителей или полупроводниковых триодов). В этом случае целесообразно звуковую катушку наматывать тонким проводом при соответственно большем числе витков, получив, таким образом, нужное сопротивление.

Наиболее распространены звуковые катушки с активными сопротивлениями от 2 до 12 *ом*. Они содержат обязательно четное число слоев, так как при этом оба вывода катушки оказываются со стороны диффузора В процессе намотки катушка пропитывается нитролаком, обеспечивающим жесткую связь всех витков обмотки между собой и каркасом. Выводы катушки должны быть достаточно эластичными и прочными. Обычно они выполняются из мягких многожильных или мишурных проводов, которые крепятся лаком и нитками к диффузору.

Звуковая катушка должна находиться точно в середине магнитного зазора. Такое ее положение обеспечивается при помощи центрирующей шайбы, изготовляемой из гибкого материала (текстолита, картона и т. п.) в виде трех- четырехлепестковой крестовины; для увеличения гибкости в ней делаются специальные вырезы. Центрирующие шайбы часто изготовляются из ткани (миткаля, шифона и т. п.), пропитанной бакелитовым лаком, или отливаются из бумажной массы (такой же, как и диффузоры) в виде гофрированного диска.

Центрирующая шайба одной своей частью приклеивается к катушке (в том же месте, где и диффузор), а другой — закрепляется неподвижно либо в центре керна (внутренняя шайба), либо внутри диффузородержателя (внешняя шайба). Последний способ крепления обеспечивает большую радиальную жесткость при большой свободе перемещения катушки и диффузора в осевом направлении.

Диффузор. Для хорошего воспроизведения верхних зву-

ковых частот подвижная система громкоговорителя должна иметь малую массу. С другой стороны, для лучшего воспроизведения нижних частот диффузор должен иметь достаточную поверхность и жесткость, чтобы не деформироваться при больших амплитудах, имеющих место на этих частотах. Эти противоречия особенно резко проявляются при конструировании громкоговорителей мощностью от 5 *ва* и выше.

В большинстве современных электродинамических громкоговорителей применяются литые бесшовные диффузоры из бумажной массы (часто с примесью шерсти), которая в жидком виде осаждается на специальные формы и просушивается. При кустарном изготовлении диффузоров применяют не слишком жесткую, но плотную бумагу (полуватман). Диаметр диффузора определяется мощностью, на которую рассчитывается громкоговоритель, и достигает 40 *см*.

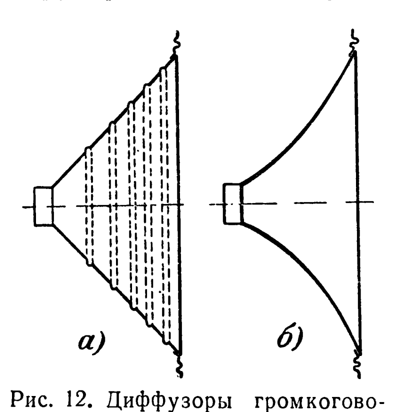


Рис. 12. Диффузоры громкоговорителей.

а — гофрированный; *б* — с криволинейной образующей.

Чтобы диффузор обладал достаточной жесткостью, ему обычно придается коническая форма, с углом раскрытия от 90 до 110—120°. При бо́льших углах диффузор оказывается недостаточно жестким, а при меньших — слишком тяжелым. В громкоговорителях мощностью 5 *ва* и выше применяют диффузоры с кольцевой гофрировкой или с криволинейной образующей, толщина которой увеличивается от основания к вершине (рис. 12). Часто конус диффузора на одну треть (вершину) пропитывают цапон-лаком. Этим достигается большая жесткость пропитанной части диффузора, что улучшает воспроизведение верхних частот. Для этой же цели иногда применяется дополнительный небольшой диффузор (конусок), пропитанный цапон-лаком и жестко прикрепленный вершиной к основному диффузору. Следует указать, что применение радиолюбителями этих мер к имеющимся у них громкоговорителям с целью улучшения воспроизведения верхних частот обычно не дает желаемого эффекта, так как при этом увеличивается масса подвижной системы.

В последнее время нашей промышленностью освоено производство громкоговорителей мощностью в 5 и 1 *ва* (5ГД-4 и 1ГД-9) с овальными диффузорами, что очень удобно для размещения их в конструкциях (особенно в телевизорах). Как и круглые громкоговорители новых типов, они обладают более широким диапазоном воспроизведения в области верхних частот, однако это не зависит от формы диффузора. Решающую роль в этом играет применение более качественных материалов (особенно для магнитной системы), правильный расчет и соответствующая технология, а также более тщательное изготовление.

Магнитная система. Коэффициент полезного действия громкоговорителя зависит также от величины магнитной индукции в рабочем зазоре магнитной цепи, состоящей из постоянного магнита и магнитопровода. В свою очередь величина магнитной индукции зависит от конструкции деталей магнитной цепи и качества магнитных материалов. Специальные магнитные сплавы, из которых отливаются постоянного магнита и магнитопровода. В свою очередь (сплав (АЛНИ) или те же металлы с некоторой добавкой кобальта (сплав АНКО-4). Эти сплавы, особенно АНКО-4, обладают высокими магнитными свойствами (большой величиной магнитной энергии, значительной коэрцитивной силой и др.).

Постоянные магниты из сплава АЛНИ изготовляются в виде цилиндрических колец или четырехгранных рамок. К их торцам крепятся передний и задний фланцы, которые вместе с керном образуют магнитопровод. В последних конструкциях громкоговорителей массовых типов для крепления фланцев применяют специальные клеи (БФ-2 и др.). Одним концом керн впрессовывается в нижний фланец, а другим входит в несколько большее по диаметру отверстие в переднем фланце. Образующийся при этом зазор и является рабочим зазором магнитной цепи. Фланцы и керн изготовляются из мягкой стали. Чем меньше ширина рабочего зазора, тем больше магнитная индукция. Однако по конструктивным и электрическим соображениям рабочие зазоры делаются шириной не менее 0,8—1,2 *мм* при высоте 5—10 *мм*.

В новых типах громкоговорителей магнитом является керн, изготовленный из сплава АНКО-4. В этом случае магнитопровод состоит из скобы, платы, кернового магнита и круглого полюсного наконечника. Рабочий зазор образуется между полюсным наконечником и платой (а иногда ско-

бой). Все детали магнитной цепи склеиваются клеем БФ-2. Такая магнитная система по сравнению со старыми имеет существенно меньший вес и меньшее поле рассеяния, к тому же экранируемое скобой.

Наряду со специальными магнитными сплавами из металлов начинают применяться магнитные материалы типа ферритов (металлокерамики). Такие материалы называют бариевыми оксидными магнитами или феррокcдюрами. По магнитным свойствам они превосходят сплав АЛНИ и в 1,6 раза легче его. Это позволяет сконструировать магнитную систему весом в 3 раза меньшим, чем аналогичная система с магнитом из сплава АЛНИ.

Особенностью магнитов из феррокcдюра является рост коэрцитивной силы с повышением температуры, поэтому их можно нагревать почти до 400° С, не боясь размагничивания. Магнитная проницаемость феррокcдюра близка к единице, магнитное сопротивление очень велико (около 10^8 *ом · см*). Из-за этих свойств максимальное использование магнита достигается при минимальном отношении его длины к сечению. Магнит поэтому делается в виде тонкого кольца, а вся магнитная система получается очень плоской, но, несмотря на это, обладает заметным полем рассеяния. Для экранирования этого поля магнитную систему помещают внутри диффузородержателя. Громкоговорители с магнитом из феррокcдюра получаются очень компактными и недорогими, при хороших электрических показателях.

Диффузородержатель громкоговорителя, соединяющий подвижную и магнитную системы в одно целое, обычно крепится к переднему фланцу магнитной системы и имеет вид конической чашки, выштампованной из листовой стали толщиной до 2 *мм*. В более мощных громкоговорителях применяются сварные диффузородержатели, а также литые из сплава «силумин».

Особенности применения и типовые данные. Электродинамические громкоговорители прямого излучения (диффузорные) малой мощности (от 0,2 до 0,5—1 *ва*) чаще всего применяются в качестве абонентских громкоговорителей на радиотрансляционных сетях.

Абонентские громкоговорители по своим электрическим и акустическим параметрам делятся на четыре класса. В табл. 2 приведены основные параметры таких громкоговорителей (согласно ГОСТ 5961-51).

В их комплект, помимо собственного громкоговорителя (головки), входит согласующий трансформатор, позволяю-

Таблица 2

Абонентские громкоговорители

Параметры	Классы			
	Первый	Второй	Третий	Четвертый
Номинальное напряжение, подводимое к зажимам громкоговорителя, *в*	30	30	30	30
Полоса воспроизводимых частот при номинальном напряжении, *гц* (не уже) . . .	80—7 500	100—6 000	150—5 000	250—3 000
Неравномерность частотной характеристики при указанной полосе частот, *дб* (не более)	12	15	18	20
Полное входное сопротивление в диапазоне частот от 200 *гц* и выше, измеренное при напряжении 30% от номинального, *ом* (не менее) . . .	900	1 800	3 600	4 500
Соответствующая этому сопротивлению и номинальному напряжению мощность, *ва* . .	1	0,5	0,25	0,2
Среднее звуковое давление, развиваемое громкоговорителем на расстоянии 1 *м* по его оси, в полосе частот от 200 до 2 000 *гц* при подведении к зажимам громкоговорителя номинального напряжения, *бар* (не менее) . . .	10	6	3	4
Нелинейные искажения громкоговорителя при подведении к его зажимам номинального напряжения в полосе воспроизводимых частот, % (не более):				
до 100 *гц*	15	—	—	—
100—300 *гц*	7	10	10	—
300—500 *гц*	4	5	8	15
выше 500 *гц*	3	3	4	5
Диапазон регулирования громкости, *дб* (не менее) . .	50	47	44	40

Условное обозначение громкоговорителя состоит из цифр, указывающих его номинальную электрическую мощность в вольт-амперах, букв ГД (громкоговоритель динамический) или ГМ (громкоговоритель электромагнитный); римской цифрой (I, II, III или IV), указывающей класс громкоговорителя, и арабской цифры, указывающей тип громкоговорителя, установленный заводом-изготовителем.

Например, условное обозначение 0,25 ГД III 2 ГОСТ 5961-51 обозначает—динамический громкоговоритель с номинальной электрической мощностью 0,25 *ва*, третьего класса, второго типа, соответствует ГОСТ.

Кроме условного обозначения, допускается также и торговое наименование громкоговорителя (например, „Чайка“, „Сибирь“ и т. п.).

щий подключать низкоомную звуковую катушку к трансляционной сети с напряжением 15 или 30 *в*, регулятор громкости, соединительный шнур со штепсельной вилкой и ящик. Электродинамические громкоговорители четвертого класса могут выпускаться в рупорном оформлении.

Особые требования предъявляются к регулировке громкости, которая может производиться плавно или скачками, через 6 *дб* (с допуском ± 2 *дб*). В громкоговорителях первого и второго классов должен быть предусмотрен регулятор громкости, компенсирующий ослабление слухового восприятия нижних частот при малых уровнях громкости. Это достигается секционированием вторичной обмотки трансформатора, причем должен быть обеспечен подъем частотной характеристики в области 80—120 *гц* относительно уровня

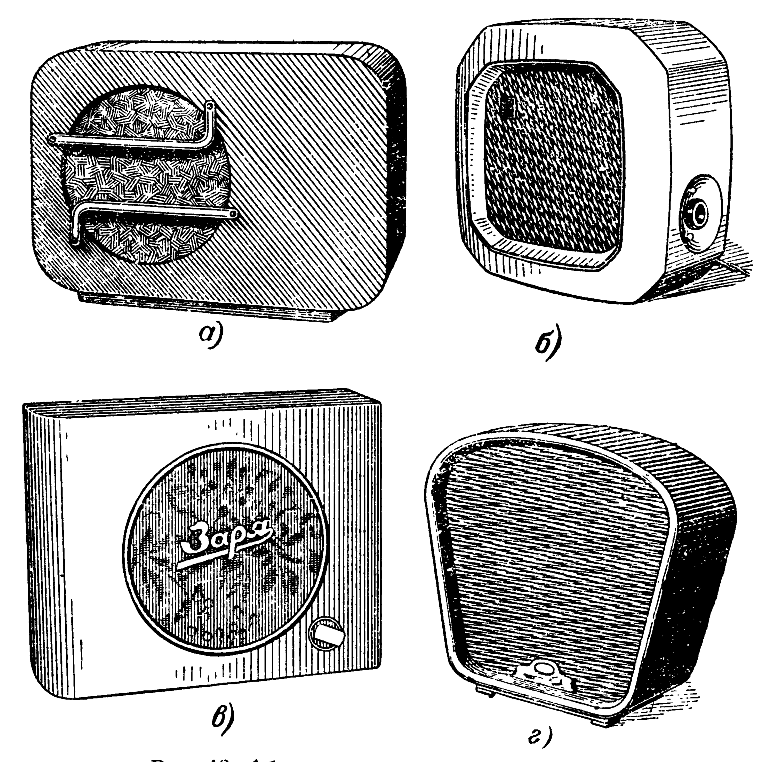


Рис. 13. Абонентские громкоговорители.
а — громкоговоритель второго класса ЗИК; *б* — громкоговоритель третьего класса ГДТ-1; *в* — громкоговоритель третьего класса „Заря" (ДАГ-1); *г*—громкоговоритель четвертого класса ДГМ.

при 800—1 000 *гц* на 10—12 *дб* при снижении общего уровня громкости до 50 *дб*, на 6—9 *дб* — при 60 *дб*, на 3—6 *дб* — при 70 *дб* и на 0—3 *дб* — при 80 *дб*.

В городских трансляционных сетях широкое применение получили абонентские громкоговорители второго класса типа ЗИК (рис. 13,*а*). К тому же классу относятся громкоговорители «Мир» и «Нева». Большинство же выпускаемых абонентских громкоговорителей, в том числе такие, как ГДТ-1 (рис. 13,*б*), «Заря» (рис. 13,*в*), «Волна», «Чайка», «Обь», «Воронеж» и др. относятся к третьему классу.

В сельских местностях широко распространен громкоговоритель четвертого класса типа ДГМ (рис. 13,*г*), более экономичный и дешевый, чем другие.

Громкоговорители прямого излучения мощностью от 1 *ва* и выше применяются в радиовещательных, автомобильных, переносных и телевизионных приемниках, а также радиолах

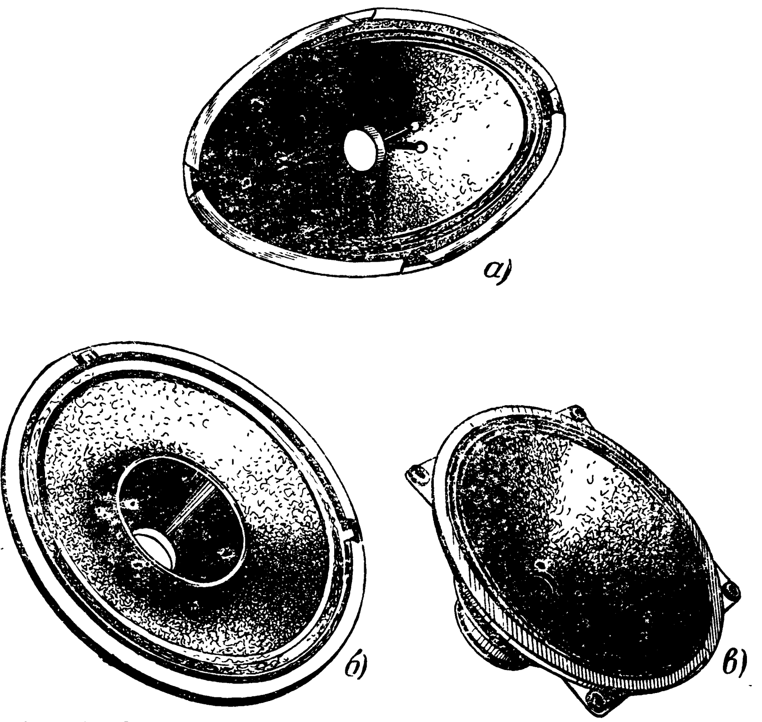


Рис. 14. Электродинамические диффузорные громкоговорители новых типов (даны не в одинаковом масштабе).
а — 1ГД-9; *б* — 2ГД-3; *в* — 5ГД-9.

Основные данные но

Тип громкоговорителя	1ГД-5	1ГД-6	1ГД-7	1ГД-8
Номинальная мощность, *ва*	1	1	1	1
Диапазон частот, *гц*	150—6 000	100—6 000	150—6 000	200—6 000
Неравномерность характеристики, *дб*	15	15	15	12
Среднее звуковое давление, *бар* . .	2,0	3,0	3,0	4,5
Коэффициент гармоник до 200 *гц*, %	12	12	12	12
Коэффициент гармоник от 200 до 2 000 *гц*, %	7,0	7,0	7,0	7,0
Индукция в зазоре, *гс* (не менее) .	5 000	7 300	7 300	11 500
Резонансная частота системы, *гц* . .	125(+15—25)	100±10	140±10	170±10
Полное сопротивление звуковой катушки, *ом*	6±0,6	6±0,6	6±0,6	6±0,6
Сопротивление звуковой катушки постоянному току, *ом*	5,5±15%	5,5±15%	5,5±15%	5,5±15%
Количество витков	32 + 31 (два			
Провод	ПЭЛ 0,12			
Сплав магнита	АЛНИ	АЛНИ	АЛНИ	АНКО-4
Вес магнита, *г*	150	340	340	180
Ширина зазора, *мм*	0,8	0,8	0,8	0,75
Диаметр керна, *мм*	17	17	17	17
Габариты громкоговорителя, *мм* . .	124×60	124×63	124×63	124×64
Вес громкоговорителя, *г*	370	600	600	400

Примечания: 1. Громкоговорители типа 1ГД-5 применяются для приемников третьего и четвертого классов и абонентских точек; 1ГД-6, 2ГД-3 и 3ГД-2 — для приемников и телевизоров второго и третьего классов; 1ГД-7 и 1ГД-8— для портативных переносных и автомобильных приемников; 1ГД-9 (овальный) — для телевизоров первого, второго и третьего классов, а также для приемников с объемным звучанием; 4ГД-1, 5ГД-10 и 5ГД-14 (овальный) — для настольных, консольных и телевизионных приемников первого и второго классов (они имеют дополнительный жесткий конус, улучшающий воспроизведение верхних частот).

Таблица 3

вых громкоговорителей

1ГД-9	2ГД-3	3ГД-2	4ГД-1	5ГД-9	5ГД-10	5ГД-14
1	2	3	4	5	5	5
100—7 000	70—10 000	80—6 000	60—12 000	70—7 000	50—12 000	60—12 000
12	14	15	14	12	14	14
2,5	2,5	3,0	2,5	3,0	3,0	2,5
12	12	15	15	15	7,0	15
5,0	7,0	7,0	7,0	7,0	5,0	7,0
7 000	7 000	6 000	7 000	9 000	9 000	7 000
90±10	80±15	80±10	60±10	70±10	60±10	60±10
6±0,6	4±0,6	4±0,6	4±0,6	4±0,4	4±0,4	4±0,4
5,5±15%	3,4±10%	3,4±10%	3,4±10%	3,4±10%	3,4±10	3,4±10%
слоя)	32 + 30 (два слоя)					
	ПЭЛ 0,16			ПЭЛ 0,18		
АНКО-4	АНКО-4	АЛНИ	АНКО-4	АЛНИ	АЛНИ	АНКО-4
50	70	350	100	700	700	100
0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
17	20	25	25	25	25	25
156×98×66	150×73	202×102	202×100	252×126	252×126	200×170×95
250	400	1 200	600	1 700	1 700	600

2. Давление, развиваемое громкоговорителем, измеряется на расстоянии 1 *м* по оси при подводимой мощности 0,1 *ва*.

3. В графе „Габариты громкоговорителя" первое число обозначает его диаметр, а второе высоту. Для овальных громкоговорителей (1ГД-9 и 5ГД-14) первое число обозначает большую ось эллипса, второе число — меньшую ось и третье число — высоту.

4. В обозначении типа громкоговорителя первые цифры указывают его номинальную мощность (*ва*), а последние — порядковый номер заводской разработки.

и электрограммофонах всех классов. Наряду с обычными громкоговорителями, имеющими круглую форму диффузора, начинают внедряться громкоговорители с овальным диффузором.

Внешний вид некоторых типовых громкоговорителей мощностью от 1 до 5 *ва* показан на рис. 14, а их частотные характеристики — на рис. 15.

Основные параметры и назначение громкоговорителей последних выпусков приведены в табл. 3.

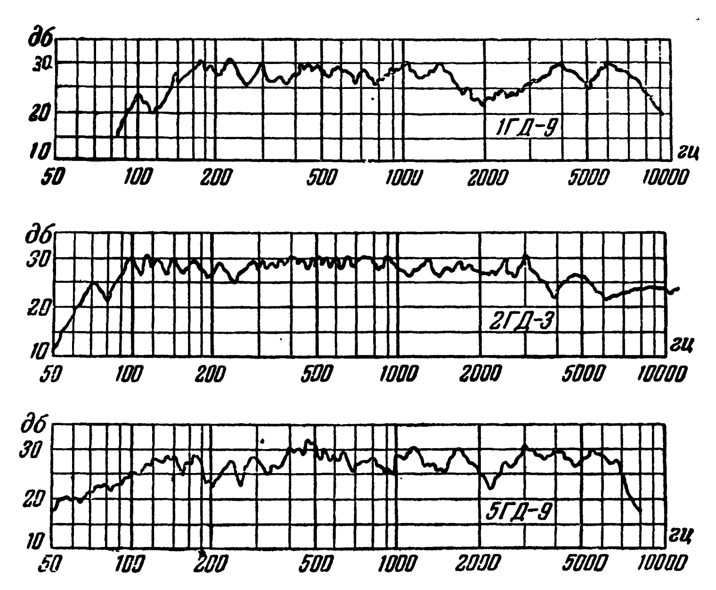


Рис. 15. Частотные характеристики громкоговорителей 1ГД-9, 2ГД-3 и 5ГД-9.

Электродинамические громкоговорители для их нормальной работы необходимо помещать в ящики, размеры которых определяют частотную характеристику. В табл. 4 приводятся минимальные размеры ящиков (они применяются при заводских испытаниях громкоговорителей), обеспечивающих параметры, приведенные в табл. 3.

Кроме описанных, имеются специальные электродинамические громкоговорители («пищалки»), используемые для воспроизведения только верхних частот звукового диапазона. Они имеют легкую подвижную систему с диффузором, диаметр которого не превышает 70—80 *мм*.

Таблица 4

Типовые размеры ящиков (без задней стенки), в которые устанавливаются громкоговорители при их испытании

Тип громкоговорителя	Размеры ящика, *мм*				
	Длина *a*	Ширина *b*	Высота *h*	Диаметр отверстия для громкоговорителя	Толщина стенок
1ГД-5	350	150	230	110	6—10
1ГД-6	450	220	300	110	6—10
1ГД-7	260	140	210	110	6—10
1ГД-8	235	85	175	110	6—10
3ГД-2	570	235	335	180	6—10
5ГД-9	600	380	410	230	6—10

РУПОРНЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Причина низкой эффективности излучателя малых размеров (по сравнению с длиной волны) коренится в быстром уменьшении звукового давления по мере удаления от излучателя, так как воздушные области сжатия и разрежения тут же получают возможность рассеиваться в пространстве. Если же громкоговоритель заставить работать через рупор, то этого не случится, так как излучение звука в этом случае будет более направленным (концентрированным).

Поэтому рупорные громкоговорители имеют более высокий к. п. д., чем диффузорные, и позволяют получить значительные звуковые мощности; кроме того, направленность их излучения не так сильно меняется с частотой, как у диффузорных. Благодаря этому рупорные громкоговорители применяются для озвучения больших помещений, а также улиц и площадей.

Форма и размеры рупора должны быть подобраны так, чтобы излучатель, воздействуя на внутренний объем воздуха в рупоре, мог совершать максимально возможную работу при данной амплитуде колебаний и почти независимо от частоты.

В начальной части рупор должен расширяться медленно. Это необходимо для того, чтобы давление, создаваемое излучателем, не уменьшалось слишком резко. Выходное отверстие (устье) должно быть большим, чтобы избежать отражения от него звуковых волн обратно в рупор, вызываемое скачкообразным изменением давления на выходе рупора. Таким условиям лучше всего удовлетворяет экспоненциальный рупор, сечение которого вначале изменяется мало,

а с приближением к устью резко увеличивается; эти рупоры и получили почти исключительное применение.

Конструктивными элементами рупорного громкоговорителя являются рупор, излучающая система (головка) и соединяющая их предрупорная камера.

От осевой длины рупора зависит низший предел излучаемых частот. Чем больше длина рупора при одних и тех же размерах входных и выходных отверстий, тем этот предел ниже. Он характеризуется так называемой критической частотой рупора, ниже которой излучение частот происходит уже не эффективно. Поэтому в мощных уличных рупорных громкоговорителях из конструктивных соображений диапазон воспроизводимых частот ограничен пределами от 200—300 *гц* до 3 000—4 000 *гц*.

Для придания конструкции механической прочности и

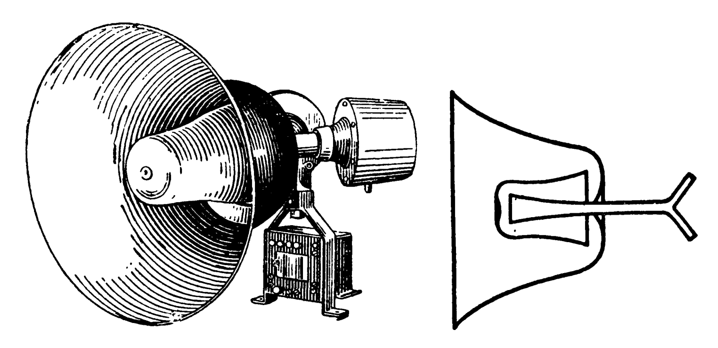


Рис. 16. Мощный рупорный громкоговоритель Р-100.

удобства при установке и эксплуатации рупор часто составляется из трех секций, входящих одна в другую. Примером такой конструкции является уличный рупорный громкоговоритель Р-100 (рис. 16) с номинальной мощностью в 100 *ва*. Он имеет две головки с постоянными магнитами, специально сконструированные для работы на экспоненциальный трехсекционный рупор. Громкоговоритель снабжен согласующим трансформатором для подключения к трансляционным линиям с напряжениями 60, 120 и 240 *в*.

Рупорные громкоговорители находят широкое применение и в качестве высокочастотных звеньев («пищалок») двухполосных громкоговорителей, получивших особое распространение в кинотеатральных установках.

Громкоговорители с направляющим рупором. В радиофикации широкое распространение получили громкогово-

рители, у которых в качестве излучающих систем применяются обычные электродинамические громкоговорители с диффузорами небольших размеров (не более 15 *см* в диаметре), работающие на рупоры с большими площадями входного отверстия (в 1,5—2 раза меньше излучающей поверхности диффузора; у нормального рупорного — в 10—15 раз). Их принято называть громкоговорителями с направляющими рупорами.

При применении такого рупора излучение передней стороны диффузора значительно более интенсивно по сравнению с излучением задней, что приводит к более рациональному использованию мощности громкоговорителя. По своим качественным показателям такие громкоговорители уступают нормальным рупорным громкоговорителям, однако простота конструкции и возможность применения в качестве головок простых диффузорных громкоговорителей с постоянным магнитом делают их более доступными.

На рис. 17 показано устройство типового громкоговорителя Р-10, предназначенного для работы на улицах и в больших закрытых помещениях. Он имеет круглый алюминиевый рупор, внутри которого в особом кожухе находятся излучающая головка и согласующий трансформатор для подключения к трансляционным линиям с напряжением 60, 120 и 240 *в*.

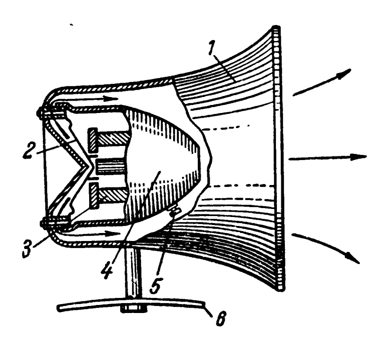


Рис. 17. Устройство громкоговорителя Р-10.

1 — рупор; *2* — диффузор; *3* — магнитная система; *4* — кожух; *5* — зажимы для включения; *6* — кронштейн для крепления.

Для сельских радиотрансляционных сетей выпускаются малогабаритные экономичные громкоговорители СГ-1 с направляющими рупорами. Такой громкоговоритель состоит из электродинамического громкоговорителя 1ГД-1, рупора, подобного только что описанному, согласующего трансформатора и регулятора громкости. Благодаря применению рупора к. п. д. громкоговорителя СГ-1 в 4 раза больше, чем у обычного громкоговорителя 1ГД-1. Номинальная мощность громкоговорителя СГ-1 равна 0,04 *ва*, однако к нему можно подводить мощность до 1,5 *ва* и использовать его как уличный громкоговоритель или для обслуживания больших

помещений. По размерам громкоговоритель СГ-1 не превосходит обычные абонентские громкоговорители (диаметр 230 *мм* и глубина 132 *мм*).

При работе на открытых местах заметно выражена разница в направленности излучения верхних и нижних частот, которая приводит к тому, что чем дальше от рабочей оси находится слушатель, тем хуже слышит он верхние частоты. Поэтому для озвучивания открытых мест следует применять ненаправленные громкоговорители. Примером такой конструкции является мощный агрегат-громкоговоритель типа ДГР-25 (рис. 18), устанавливаемый высоко на мачте или на кронштейне.

Этот агрегат представляет собой двухполосную систему и состоит из одного горизонтально расположенного низкочастотного громкоговорителя *1*, снабженного направляющим рупором *2* с рассеивателем *3*, обеспечивающим нужное распределение в горизонтальной плоскости (ненаправленное излучение). Воспроизведение верхних частот осуществляется тремя громкоговорителями *4*, расположенными в нижней части и под углом 120° друг к другу. Такое расположение позволяет получить равномерное распределение звука и в области верхних частот. Высокочастотные громкоговорители соединяются последовательно и подключаются к согласующему трансформатору через конденсатор. Громкоговоритель ДГР-25 рассчитан на подключение к трансляционной сети с напряжением 120 или 240 *в*.

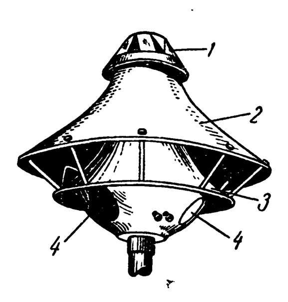


Рис. 18. Громкоговоритель ДГР-25.

1 — низкочастотный громкоговоритель; *2* — направляющий рупор; *3* — рассеиватель; *4* — высокочастотные громкоговорители.

В табл. 5 приведены основные данные наиболее распространенных рупорных громкоговорителей.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЗВУКОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Роль внешнего оформления. Диффузор громкоговорителя при движении вперед сжимает воздух впереди себя и разрежает сзади. Эти области сжатия и разрежения, огибая диффузор, «накладываются» друг на друга и взаимно уничтожаются. При движении диффузора назад получается та

Таблица 5

Рупорные громкоговорители

Параметры и конструктивные данные	СГ-1	Р-10	Р-100	ДГР-25[1]
Номинальная мощность, *ва*	0,04	10	100	25
Допустимая кратковременная мощность, *ва*	—	15	200	50
Диапазон частот, *гц*	200—5 000	250—4 000	200—3 000	150—5 000
Неравномерность частотной характеристики, *дб*	20	20	20	20
Среднее звуковое давление[2], *бар*	3,2	6	12	4,5
Коэффициент гармоник при номинальной мощности, %	7	10	10	7
Частоты, при которых измеряется коэффициент гармоник, *гц*	400	400	1000	500
Сопротивление звуковой катушки (активное), *ом*	2,8	1,6—1,8	4,6—5,0	5,7—6,2 4,8—5,3
Диаметр диффузора, *мм*	150	170	174	340/174
Диаметр выходного отверстия рупора, *мм*	230	390	608	850
Длина рупора, *мм*	132	355	373	—
Высота громкоговорителя, *мм*	—	—	—	700

[1] Громкоговоритель двухполосный, второе число (внизу) относится к высокочастотному звену.

[2] Измеряется на расстоянии 1 *м* при подводимой мощности 0,1 *ва* для СГ-1, Р-10 и Р-100 и на расстоянии 10 *м* при 25 *ва* для ДГР-25.

же картина[1]. Такой эффект называют акустическим «коротким замыканием»: диффузор только перегоняет воздух с одной стороны на другую (рис. 19,*а*).

Для устранения этого явления громкоговоритель укрепляют на щите (экране). Если размеры щита (сторона квадрата или диаметр круга) не меньше половины длины волны, соответствующей самой нижней звуковой частоте, то «короткого замыкания» не будет. При этом изменение давления в воздушном слое, непосредственно примыкающем к диф-

[1] Способность звуковых волн огибать препятствия, стоящие на пути их распространения (дифракция), выражается тем более отчетливо, чем больше длина звуковой волны по сравнению с размерами препятствия.

фузору, будет передаваться соседним слоям воздуха и направляться дальше, т. е. будет происходить излучение звука (рис. 19,*б*).

Для хорошего воспроизведения нижних частот размеры экрана должны быть велики. Так, для обеспечения нормаль-

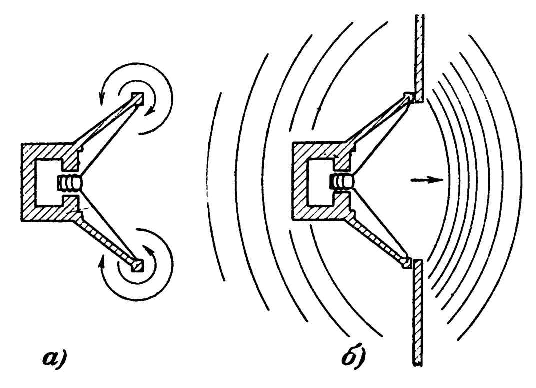


Рис. 19. Схема работы диффузора громкоговорителя.
а — без экрана; *б* — с бесконечно большим экраном.

ной работы громкоговорителя, начиная с 50 *гц* ($\lambda=680$ *см*), необходимо иметь щит шириной не менее 340 *см*.

Однако при некоторых условиях практически вполне удовлетворительные результаты получаются и при меньших размерах щитов, особенно в тех случаях, когда применяемый громкоговоритель имеет собственный резонанс подвижной системы порядка 80—100 *гц* и выше. На рис. 20 дан график для определения большей стороны щита (размер *d* по рис. 21,*а*) в зависимости от заданной нижней граничной частоты ($f_н$). Для обеспечения лучшей частотной характеристики в области средних частот щит должен быть не квадратный, а с отношением сторон 3 : 2 или 4 : 3. Лучше даже, если он будет неправильной формы и громкоговоритель размещен не в центре.

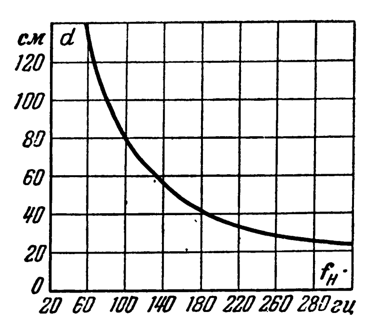


Рис. 20. График для выбора размеров акустического экрана.

Вместо щитов уже давно очень широкое распространение получили ящики с открытой задней стенкой

(ящик радиоприемника). Такой ящик можно рассматривать как сложенный акустический экран со стороной $d=a+2b$ (рис. 21,*б*). Определив этот расчетный размер d по вышеприведенному графику (рис. 20), основные размеры ящика (длину a, ширину b и высоту h) следует рассчитать, исходя из конструктивных соображений (размера шасси, шкалы и т. п.). Хорошо, если соотношение размеров ящика удовлетворяет условию $\frac{a}{h}=\frac{h}{b}$.

Некоторую ориентацию в размерах ящиков для разных типов громкоговорителей может дать приведенная на стр. 35 табл. 4. Отклонение этих размеров в бóльшую сторону улучшит звучание.

Вырез для громкоговорителя должен точно соответствовать размерам той части диффузородержателя, которая прилегает к щиту или стенке ящика. Обычно громкоговоритель крепится к щиту или передней стенке ящика с внутренней стороны, однако если позволяет облицовка или в доске можно сделать соответствующий вырез на толщину диффузородержателя, то его целесообразно крепить к наружной стороне стенки; особенно это желательно для громкоговорителей малого размера и «пищалок».

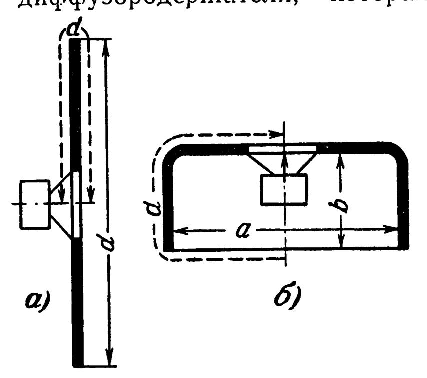


Рис. 21. Размещение громкоговорителей.

а — на экране с расчетным размером d; *б* — в ящике с эквивалентным размером $d = a + 2b$.

Может показаться, что вместо большого щита или ящика без задней стенки можно применить ящик меньших размеров, но с задней стенкой, которая преграждает путь излучению обратной стороны диффузора и, таким образом, исключает возможность акустического «короткого замыкания». Однако это не так. Упругость замкнутого в ящике воздушного объема, складываясь с упругостью механической системы громкоговорителя, повышает его собственную резонансную частоту и тем самым еще больше уменьшает отдачу на самых низких частотах. Наличие такого замкнутого объема вызывает и нежелательные резонансные явления на более высоких частотах. Кроме того, в закрытых ящиках

ухудшается охлаждение ламп и деталей приемно-усилительной части, и поэтому такие ящики почти не применяются. Радиолюбительские конструкции, имеющие мощный выходной каскад (до 15—20 *вт*), нужно располагать в больших ящиках консольного типа. Чем больше ящик, тем лучше воспроизводятся нижние частоты.

Иногда бывает целесообразно размещать громкоговорители отдельно от приемника или усилителя, особенно если для этого можно использовать стену или угол комнаты. Это увеличивает эффективные размеры акустического экрана, а, кроме того, угол образует своего рода большой рупор, улучшающий воспроизведение нижних частот. Конструкция, располагаемая в нижнем углу комнаты, может быть выполнена как в виде щита, прикрепляемого к стене, так и в виде трехгранного ящика. Верх конструкции должен быть открыт и затянут редкой материей. В щите для верхнего угла комнаты нужно предусмотреть свободный выход колебаний, создаваемых задней стороной диффузора, оставив широкую щель между верхней кромкой щита и потолком. Сами громкоговорители полезно обернуть одним-двумя слоями редкой материи, предохраняющей от проникновения пыли в подвижную систему.

Для улучшения звучания на нижних частотах можно применить фазоинвертор — закрытый ящик с дополнительным небольшим отверстием, располагаемым обычно под громкоговорителем. Размеры ящика и этого отверстия рассчитываются таким образом, чтобы звуковые колебания нижних частот, излучаемые обратной стороной диффузора, выходили в окружающую среду через отверстия в той же фазе, что и колебания, излучаемые передней стороной диффузора. Изменяя размеры этого отверстия, можно подчеркнуть звучание нижних частот. Внутренние стенки фазоинвертора частично или полностью покрываются звукопоглощающим материалом. Это устраняет нежелательное влияние собственных колебаний воздуха внутри ящика в области более высоких частот.

При правильном выборе размеров фазоинвертора отдача громкоговорителя в области частот 80—250 *гц* повышается более чем в 2 раза (на 6—8 *дб*). Кроме того, уменьшаются нелинейные искажения вследствие демпфирования подвижной системы громкоговорителя объемом воздуха, заключенным внутри ящика. Это демпфирование происходит как раз на частоте собственного резонанса, при которой нелинейные искажения наибольшие. Конечно, применение фазо-

инвертора возможно только при раздельном размещении акустической и приемно-усилительной части. Для фазоинвертора весьма подходит трехгранный ящик, который можно расположить в углу комнаты.

Две конструкции ящиков-футляров приведены на рис. 22.

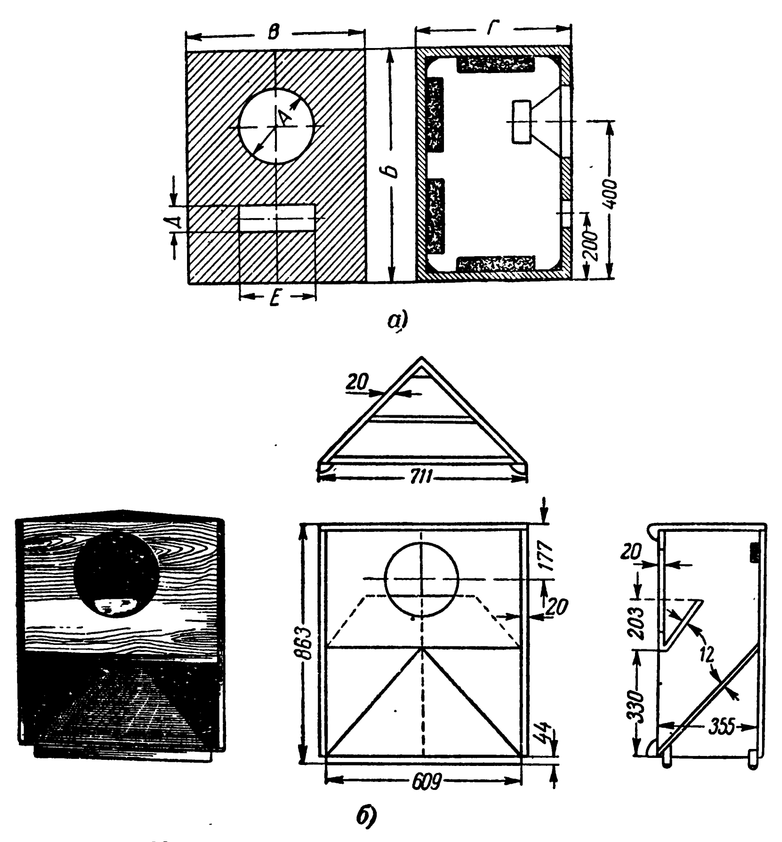


Рис. 22. Конструкции ящиков для громкоговорителей.

а — простейшая конструкция фазоинвертора (затемненными прямоугольниками показано размещение звукопоглощающих материалов); *б* —трехгранная консоль для установки в углу комнаты.

Внутренние стенки ящиков частично покрыты звукопоглощающим материалом (ватой, слоями мешковины и т. п.). Размеры наиболее простого фазоинвертора (рис. 22,*а*) в зависимости от применяемого громкоговорителя даны в табл. 6.

Таблица 6

Конструктивные размеры (в миллиметрах) фазоинвертора
(к рис. 22, *а*)

Диаметр громкоговорителя, *мм*	*А*	*Б*	*В*	*Г*	*Д*	*Е*
200	162	575	450	250	75	240
250	212	700	550	325	100	325
300	262	850	675	350	125	425
380	345	1 000	750	450	175	550

Для изготовления фазоинверторов, а также акустических экранов (щитов и ящиков) применяют материалы, обладающие достаточной жесткостью, например многослойную фанеру толщиной 10—15 *мм*. Щиты и стенки ящиков должны быть хорошо пригнаны, проклеены и прошпаклеваны; щели или трещины недопустимы. Плохой ящик может вызвать дребезжание или другие побочные звуки, а также ухудшить частотную характеристику громкоговорителя.

Выбор громкоговорителя. Номинальная мощность громкоговорителя должна быть равна или превышать максимальную неискаженную мощность выходного каскада того устройства, для которого он выбирается. Перегружаемый громкоговоритель вносит очень большие искажения. Необходимо, чтобы громкоговоритель равномерно воспроизводил ту полосу частот, на которую рассчитан приемник или усилитель низкой частоты. Так как громкоговорители резко снижают отдачу на частотах, лежащих ниже их основной резонансной частоты (60—120 *гц*), то желательно применять громкоговорители с достаточно низкой собственной частотой резонанса, конечно, если при этом сохраняется нужный диапазон воспроизведения верхних частот.

Собственная частота резонанса подвижной системы громкоговорителя не всегда указывается в типовых параметрах. Чаще можно встретить среднее значение этой частоты, которое у разных экземпляров одного и того же типа громкоговорителей может отличаться от фактического на ±20 *гц*. Определить собственную частоту резонанса можно, подавая на звуковую катушку небольшое (около 1 *в*) напряжение от генератора звуковой частоты. Изменяя его частоту в диапазоне 20—200 *гц*, добиваются максимальной амплитуды колебаний диффузора (хорошо заметных глазом), что и будет служить показателем резонанса.

Собственную частоту резонанса можно определить и по полному внутреннему сопротивлению звуковой катушки громкоговорителя (пик на рис. 23). Измеряя это сопротивление до и после установки громкоговорителя в ящик, можно судить о качестве их согласования. При хорошем согласовании пик должен резко уменьшиться или даже совсем исчезнуть; при этом могут появиться два небольших пика, расположенных несколько выше и ниже собственной частоты резонанса.

Частотная характеристика электродинамического громкоговорителя отличается значительной неравномерностью. Чтобы сгладить эти неравномерности, громкоговорители сдваивают.

Для совместной работы громкоговорителей необходимо, чтобы частоты основного разонанса каждого громкоговорителя отличались на 20—30 *гц*, причем желательно, чтобы

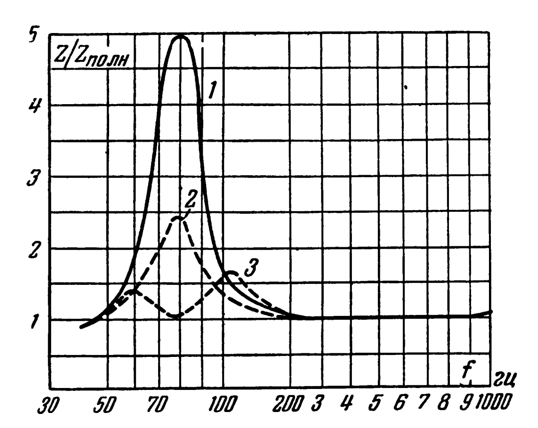


Рис. 23. Усредненные частотные характеристики полного внутреннего сопротивления громкоговорителя мощностью 3 *ва*.
1 — без ящика; *2* — в ящике с открытой стенкой; *3* — в фазоинверторе.

низшая частота резонанса была порядка 70—80 *гц*. Повышение качества звуковоспроизведения при двух громкоговорителях объясняется тем, что суммарная частотная характеристика становится более равномерной. Выравнивание характеристики происходит потому, что разные экземпляры громкоговорителей одного типа имеют несовпадающие частотные характеристики, причем провалы и пики оказываются на разных частотах. Кроме того, сдваивание громкоговорителей почти в 2 раза повышает к. п. д. (отдачу), так как излучаемая звуковая энергия возрастает почти в 4 раза

благодаря увеличению вдвое эффективной поверхности диффузора, а потребляемая от усилителя электрическая мощность только удваивается. Это справедливо только при достаточно близком расположении громкоговорителей на доске или в ящике.

Можно применять и большее количество одинаковых громкоговорителей при соблюдении тех же условий, но в этом случае конструкция становится громоздкой. В установках с выходной мощностью порядка 10—15 *вт* следует применять два громкоговорителя по 5—8 *ва*, а для установок меньшей мощности подойдут громкоговорители мощностью 1—3 *ва*.

При сдваивании громкоговорителей их нужно правильно сфазировать. Это осуществляется визуально при помощи батареи в 1,5—4,5 *в*, которая присоединяется к звуковым катушкам громкоговорителей, соединенным параллельно или последовательно. Переключая выводы одной звуковой катушки, добиваются, чтобы оба диффузора при включении двигались в одну сторону.

Правильность фазировки можно проверять и на слух, пробуя переключать концы звуковой катушки (или обмотки возбуждения). При неправильном включении громкость на средних частотах заметно уменьшается. Однако подобный способ ненадежен и пригоден только при сдваивании громкоговорителей. При большем их количестве фазировка на слух становится затруднительной.

Заботясь об обеспечении хорошего воспроизведения нижних частот, не следует забывать и об особенностях излучения верхних частот. Если громкоговорители расположены в глубине ящика или в прорези, сделанной в толстой стенке (20—30 *мм*), то воспроизведение верхних частот может ухудшиться, так как перед диффузорами образуется большой слой воздуха. В этом случае полезно отверстие для громкоговорителя прорезать в виде конуса с углом в 45° (между образующей конуса и поверхностью стенки) или крепить громкоговоритель к наружной стороне ящика так, как это было указано выше.

Существенно влияет на воспроизведение верхних частот и такой параметр громкоговорителя, как характеристика направленности. С повышением частоты (уменьшением длины волны) или на данной частоте с увеличением диаметра диффузора характеристика направленности становится более острой. В результате качество звучания громкоговорителя

оказывается лучшим вдоль его оси и худшим в стороне от нее. По этой причине нельзя рекомендовать размещение громкоговорителей на верхних или боковых стенках ящиков. Вообще же для воспроизведения верхних частот лучше подходят громкоговорители с малым диффузором («пищалки»), имеющие более широкую характеристику направленности и лучшую чувствительность на этих частотах.

В радиолюбительской практике в качестве «пищалок» можно применять громкоговорители типов 1ГД-7, 1ГД-8 и 1ГД-9 (с меньшим эффектом 1ГД-6). Лучше всего для этой цели подходит овальный громкоговоритель 1ГД-9, тем более, что в производстве имеется его разновидность с частотной характеристикой в пределах 150—10 000 *гц* (собственная резонансная частота 150—180 *гц*).

Если выходной каскад обеспечивает достаточную мощность для работы двух громкоговорителей, то дополнительный громкоговоритель следует подключать через разделительный конденсатор параллельно громкоговорителю, воспроизводящему всю рабочую полосу частот. Разделительный конденсатор ограничивает амплитуду колебаний на нижних частотах (от 400—300 *гц* и ниже) и предохраняет дополнительный громкоговоритель от перегрузок. Конденсатор берется бумажный емкостью от 0,5 до 4 *мкф* (подбирается в зависимости от соотношения внутренних сопротивлений обоих громкоговорителей). Если сопротивление основного громкоговорителя больше сопротивления дополнительного (в 2—3 раза), то последний также через конденсатор следует подключать к части витков вторичной обмотки выходного трансформатора или к отдельной обмотке.

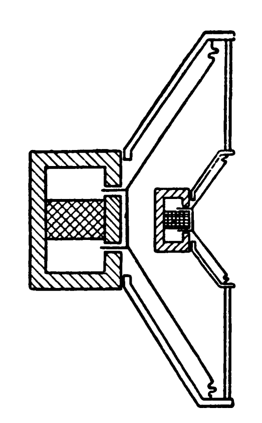


Рис. 24. Соосное расположение двух громкоговорителей.

Очень выгодно как по акустическим, так и по конструктивным соображениям смонтировать дополнительный (малый) громкоговоритель внутри основного (большего). Такая соосная конструкция (рис. 24) имеет широкое распространение за рубежом и находит применение в наших промышленных и любительских разработках.

Двухполосное звуковоспроизведение. Более радикальным способом повышения качества звуковоспроизведения являет-

ся разделение воспроизведения верхних и нижних частот между отдельными электродинамическими громкоговорителями. Практически достаточно подразделить рабочую полосу частот только на две части: от 30—40 до 500—1 000 *гц* и от 500—1 000 до 10 000 *гц*. При необходимости воспроизведения еще более высоких частот (до 14—15 *кгц*) частоту разделения необходимо повышать до 3—4 *кгц* и выше.

По конструктивному построению двухполосные громкоговорящие агрегаты можно подразделить на соосные и с разнесенными осями. В них используются как диффузорные, так и рупорные электродинамические громкоговорители, причем последние используются главным образом для воспроизведения верхних частот. Такие агрегаты ввиду их высокого к. п. д. нашли широкое распространение в мощных звуковоспроизводящих установках, обслуживающих кинотеатры, залы и открытые площади.

Простейшая конструкция двухполосного агрегата содержит два диффузорных громкоговорителя разных размеров, обладающих соответствующими частотными характеристиками и смонтированных в одном акустическом экране или ящике.

Применение в каждой полосе по два громкоговорителя, выбранных на основе вышеприведенных сведений, позволяет значительно повысить качество звуковоспроизведения. Размещение четырех громкоговорителей при настольном и консольном оформлении ящиков показано на рис. 25. Однако такое расположение громкоговорителей, у которых рабочие оси разделены, при прослушивании передачи в непосредственной близости от них вызывает ощущение разделения источников звука. Соосное же расположение громкоговорителей (рис. 24) устраняет это неприятное явление, однако при этом в области частоты разделения могут возникнуть искажения из-за разной высоты конусов диффузоров. Если частоту разделения взять около 400 *гц*, то эти искажения можно сделать почти незаметными.

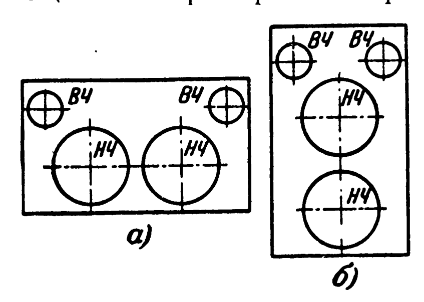


Рис. 25. Схемы расположения громкоговорителей при двухполосном звуковоспроизведении.

а — при настольном оформлении; *б* — в консольной конструкции.

В мощных рупорных двухполосных громкоговорителях, предназначаемых для озвучания больших закрытых и открытых площадей, расположение громкоговорителей может быть не соосное, так как при прослушивании на значительном расстоянии разделение источников звука незаметно. В этом случае желательно, чтобы длина обоих рупоров была одинаковой. Это уменьшает искажения в полосе разделения, происходящие из-за разной длины пути звуковых волн.

Разделительные фильтры. Звуковые катушки «низкочастотного» и «высокочастотного» громкоговорителей, работающих в двухполосной системе, необходимо подключать к выходу усилителя через разделительный фильтр, служащий для распределения подводимой электрической мощности на две части таким образом, чтобы колебания с частотами, лежащими ниже частоты разделения, подавались на «низкочастотный» громкоговоритель, а колебания с частотами, лежащими выше,— на «высокочастотный».

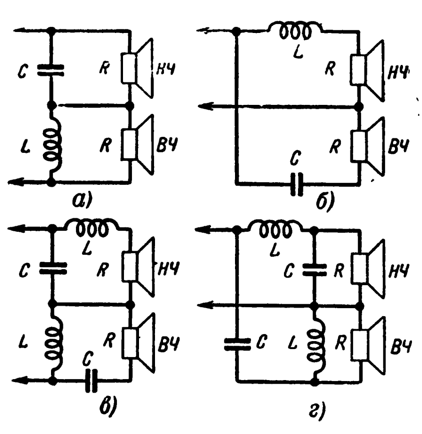


Рис. 26. Схемы разделительных фильтров.

Схемы разделительных фильтров приведены на рис. 26. В них используется то обстоятельство, что емкостное сопротивление конденсатора падает с частотой, тогда как индуктивное сопротивление дросселя возрастает. Звуковые катушки громкоговорителей в схемах рис. 26,*а* и *в* включены последовательно, а в схемах рис. 26,*б* и *г* — параллельно выходу усилителя.

Емкость конденсаторов и индуктивность дросселей разделительных фильтров зависят от сопротивления звуковых катушек и от выбранной частоты раздела. При равенстве сопротивлений звуковых катушек низкочастотного и высокочастотного громкоговорителей величина конденсаторов и дросселей рассчитывается по формулам, приведенным в табл. 7, где R — сопротивление звуковых катушек (в омах), а $\omega_p = 6{,}28\, f_p$ — частота разделения (в герцах).

В случае различных сопротивлений звуковых катушек

Таблица 7

Детали	Для схем рис. 26		
	а и *б*	*в*	*г*
L, *гн*	$\frac{R}{\omega_p}$	$\frac{R}{1,4\omega_p}$	$\frac{1,4}{\omega_p}$
C, *ф*	$\frac{1}{\omega_p R}$	$\frac{1,4}{\omega_p R}$	$\frac{1}{1,4\omega_p R}$

громкоговорителей их следует уравнять при помощи согласующего трансформатора. Такой трансформатор лучше применять для высокочастотного громкоговорителя. Его коэффициент трансформации вычисляется по формуле

$$n = \sqrt{\frac{R_н}{R_в}},$$

где $R_н$ — сопротивление низкочастотного громкоговорителя;
$R_в$ — сопротивление высокочастотного.

Входное сопротивление агрегата. подключаемого к усилителю через фильтры, рассчитанные по формулам табл. 7, почти не зависит от частоты и численно равно входному сопротивлению R одного громкоговорителя, если, конечно, оно само мало зависит от частоты. Такая малая зависимость как раз существует в электродинамических громкоговорителях, хорошо согласованных со своим акустическим оформлением. Поэтому выходной трансформатор усилителя низкой частоты следует рассчитывать обычным порядком, учитывая суммарную мощность всех громкоговорителей, а сопротивление только одного.

Намотку дросселей, включаемых последовательно с громкоговорителем, нужно выполнить достаточно толстым проводом, чтобы их собственное активное сопротивление было в несколько раз (10—20) меньше, чем сопротивление звуковой катушки. Такое же сопротивление дросселей, включаемых параллельно, должно быть во столько же раз больше (они наматываются тонким проводом).

При фильтрах, выполненных по схемам рис. 26 согласно приведенным расчетным формулам, мощность, подводимая к двухполосному агрегату на частоте разделения f_p, делит-

ся поровну между громкоговорителями. На этой частоте затухание, вносимое каждым из фильтров, равно 3 *дб*.

Схемы на рис. 26,*в* и *г* лучше обеспечивают постоянство входного сопротивления и дают более хорошее разграничение частотного диапазона, чем более простые схемы на рис. 26,*а* и *б*. Однако в большинстве случаев, особенно в установках, к которым не предъявляется особо жестких требований, допустимы и эти простейшие фильтры.

Кроме описанного способа разделения частот на выходе усилителя, применяются также схемы разделения, начиная со входа усилителя или где-либо в промежуточных каскадах. Такой способ сквозного двухполосного усиления позволяет значительно улучшить качественные характеристики звуковоспроизводящей системы. Конечно, применение его требует, помимо описанного выше надлежащего фазирования звуковых катушек громкоговорителей, также и фазирования вторичных обмоток выходных трансформаторов.

Сквозное двухполосное усиление наиболее эффективно в мощных устройствах (от 20—25 *вт* и выше). В этом случае разделение рабочей полосы выходных каскадов позволяет выполнить их с лучшими технико-экономическими и эксплуатационными показателями.

НОВОЕ В ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯХ И ИХ ОФОРМЛЕНИИ

Высокие качественные показатели современного радиовещания, особенно на УКВ с ЧМ, и звукозаписи заставляют обратить особое внимание на акустическую часть приемников, радиол, телевизоров и пр.

Основной тенденцией при этом является разделение диапазона воспроизводимых частот на две или даже три полосы. Оформляются такие агрегаты либо в виде единой конструкции с соосным расположением громкоговорителей (рис. 27), либо в специальных ящиках и фазоинверторах, где рабочие оси громкоговорителей разнесены. Как в первом, так и во втором вариантах в качестве высокочастотных звеньев чаще всего работают рупорные «пищалки» со специальным многоячейковым рупором.

Системы с объемным звучанием. Большое внимание в последнее время уделяется созданию акустических систем, имеющих круговую характеристику направленности во всей области воспроизводимых частот. Этим создается эффект объемного звучания, близкого к естественному. Достигается это соответствующим подбором громкоговорителей (как по

количеству, так и по характеристикам), надлежащей схемой усилителя, а главное — размещением их в ящике.

За рубежом такие акустические системы получили название $3D$ (звук в трех измерениях) или $4R$ (объемное звучание).

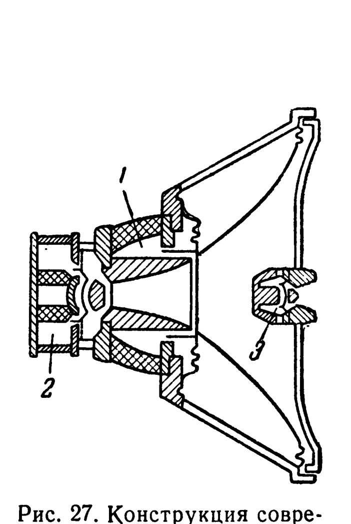


Рис. 27. Конструкция современного трехполосного громкоговорителя.

1 — низкочастотный диффузорный громкоговоритель; 2 — рупорный громкоговоритель на средние частоты; 3 — высокочастотная рупорная „пищалка".

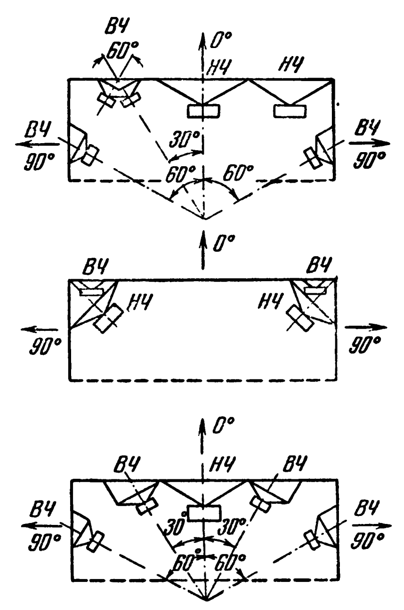


Рис. 28. Схемы расположения громкоговорителей в приемниках с объемным звучанием.

На рис. 28 показано эскизное расположение громкоговорителей в приемниках с объемным звучанием, выпускаемых немецкой фирмой «Телефункен». В других аппаратах объемность звучания достигается другим, более сложным путем, но во всех случаях необходимо иметь не менее четырех громкоговорителей, причем два или три из них для воспроизведения только верхних частот.

Акустические линзы. Необходимость достижения хорошей характеристики направленности наиболее простыми средствами натолкнуло конструкторов на возможность применения акустических линз.

Физические законы акустики во многих случаях аналогичны законам оптики, так как в основе их лежат колебательные процессы. Поэтому уже давно в технике ультразвуковых частот применялись как собирающие, так и рассеивающие акустические линзы. Акустические линзы можно применять и на частотах 2—3 *кгц* и выше, причем для расширения характеристики направленности громкоговорителя линза должна быть рассеивающей.

Принцип действия линз основан на разности скоростей распространения колебаний в зависимости от плотности среды. Так, в водороде, скорость распространения звука больше, а в углекислом газе меньше, чем в воздухе.

Однако в акустике возможно выполнение линз не только из материалов, отличающихся скоростями распространения в них звуковых волн, но и в виде конструкций, в которых изменение эффективной скорости звука достигается удлинением пути звуковой волны. Применяя систему щелей, расположенных с соответствующим наклоном, можно получить нужный эффект. На рис. 29,*а* схематично изображена рассеивающая линза, имеющая щели одинакового наклона, но разной длины. Такая линза называется плоскогиперболической (по форме плоскостей, которые ее образуют). Аналогичная по конструкции линза (рис. 29,*б*), имеющая щели с разным наклоном, называется линзой с переменным показателем преломления. Для обеспечения на выходе сферического или кругового цилиндрического распространения звуковых волн угол наклона щелей должен изменяться по мере удаления от оси линзы по определенному закону.

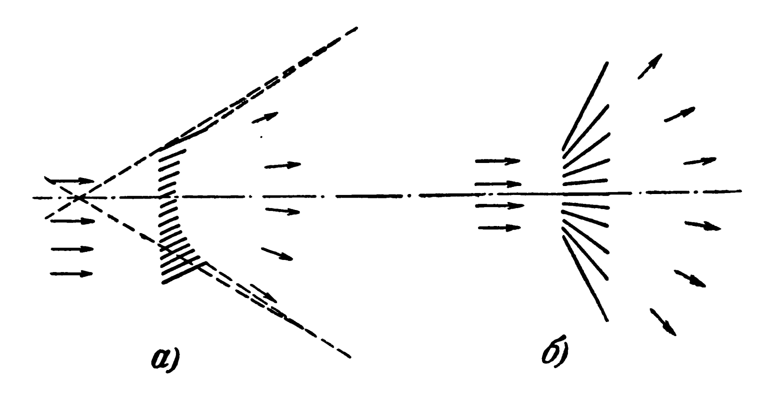


Рис. 29. Принцип действия акустических линз.
а — плоскогиперболическая; *б* — с переменным показателем преломления.

На рис. 30 дан эскиз рассеивающей линзы (с переменным показателем преломления), которая рассчитана на применение в высокочастотном звене двухполосного громкоговорителя типа 30А-3, предназначенного для обслуживания средних кинотеатров. Он обеспечивает заданную направленность излучения (не менее 35°) во всем диапазоне рабочих частот.

Ионофон. Новый тип громкоговорителя, устройство которого основано на термоионном принципе, был разработан несколько лет назад. Было установлено, что область термоионного излучения, будучи промодулирована звуковой частотой, может служить источником звуковых колебаний.

Термоионное излучение появляется в результате коронного разряда, который представляет собой одну из форм самостоятельного разряда в газе. Его можно охарактеризовать как неполный пробой газового промежутка (в отличие от полного или дугового разряда). Коронный разряд возникает тогда, когда напряженность электрического поля у одного из электродов выше, чем в остальных частях разрядного промежутка: он сопровождается очень высокой температурой (до 2 000—4 000° С). Это способствует образованию вокруг коронизирующего электрода ионизированной среды. Коронный разряд может быть получен при подведении к электродам высокого напряжения (10—20 *кв*) как постоянного, так и переменного тока любой частоты, однако экспериментально установлено, что лучшие результаты получаются при применении высокочастотного напря-

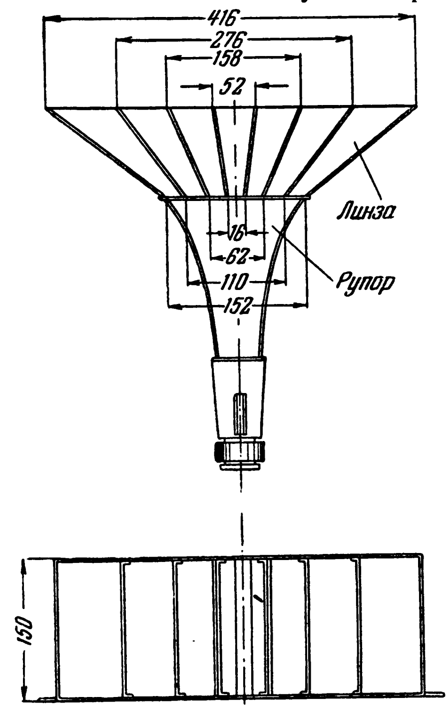


Рис. 30. Эскиз рассеивающей звуковой линзы.

жения (15—30 *Мгц*). При этом наряду с эксплуатационными преимуществами (безопасность, более простая экранировка и т. п.) получаются минимальные помехи и шумы при звуковом воспроизведении.

Особенности конструкции ионофона заключаются в отсутствии каких-либо механических деталей, служащих для преобразования электрических колебаний в звуковые. Этим достигается практически безинерционность системы, которая не имеет своих собственных резонансов, а потому позволяет воспроизводить без искажений частотный диапазон до 20 и более килогерц. В ионофоне осуществляется прямое преобразование электрической энергии в колебания молекул воздуха в ионизированной среде.

На рис. 31 изображена модель ионофона с рупором, выпущенного фирмой «Телефункен». Он имеет равномерную отдачу в полосе 1—20 *кгц* при достаточно широкой характеристике направленности (зависит исключительно от рупора).

Ионофон состоит из кварцевой трубки особой формы, внутри которой помещен коронизирующий электрод, К нему от лампового генератора через высокочастотный трансформатор, первичная обмотка которого является колебательным контуром, подается высокое напряжение (10—15 *кв*) с частотой 27 *Мгц*. Для получения звуковых колебаний генератор модулируется напряжением звуковой частоты. Для получения более интенсивного потока ионов коронизирующий электрод выполнен в виде иглы с плати-

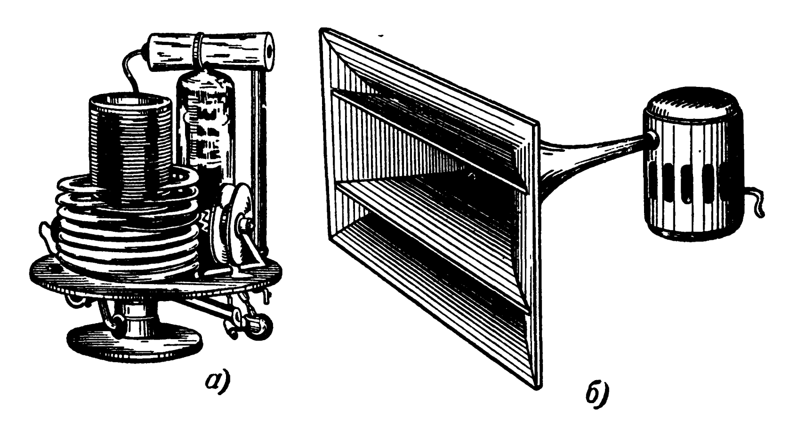


Рис. 31. Модель ионофона.
а — внутренний вид; *б* — общий вид с гиперболическим рупором.

новым шариком на конце, который покрыт специальным порошком. Этот шарик нагревается и является мощным термоионным эмиттером. Область ионизации располагается, таким образом, во внутренней полости трубки, которая сообщается с горлом рупора. Необходимость поддержания достаточно высокой температуры внутри кварцевой трубки заставляет ту ее часть, в которой находится накаленный (коронизирующий) электрод, окружать вакуумной камерой, что значительно уменьшает тепловые потери.

Демпфирующие покрытия. Резонансные явления, свойственные как подвижной системе громкоговорителя, так и ящикам, а также и другим специальным акустическим устройствам, в которых размещаются громкоговорители, приводят к возникновению нежелательных (паразитных) колебаний, ухудшающих звуковое воспроизведение.

Для сглаживания и подавления этих явлений в последнее время применяются специальные демпфирующие покрытия, наносимые на колеблющиеся поверхности. Они увеличивают внутренние механические потери, и это резко уменьшает амплитуду паразитных колебаний. Так, применение демпфирующего покрытия гофра диффузора громкоговорителя приводит к выравниванию частотной характеристики в области верхних частот, неравномерность которой обусловливается наличием ряда мелких резонансов из-за колебания диффузора не как единого целого, а отдельными участками.

Другим полезным применением демпфирующего покрытия является возможность уменьшения толщины стенок ящиков для приемников и громкоговорителей, включая акустические экраны и фазоинверторы.

Известно, что чем больше мощность громкоговорителя и размеры ящика, тем толще должны быть стенки. Это необходимо для того, чтобы не было дребезжания стенок на резонансных частотах. Именно поэтому рекомендуется применять для изготовления таких ящиков фанеру толщиной 10—15 *мм*. Возможно применение и более тонкого материала (5—8 *мм*), но в этом случае для увеличения жесткости стенок необходимо делать каркас (решетку), что существенно усложняет конструкцию.

Воспользовавшись эффектом, который дает демпфирование, можно изготавливать ящики и акустические экраны из более тонкой фанеры (3—6 *мм*), имеющей демпфирующее покрытие. Наиболее подходящим покрытием для этого

может быть широко распространенный кровельный материал — рубероид. Он имеет толщину около 1,5 *мм* и выпускается в виде рулонов шириной в 1 *м*. Его можно наклеивать на фанеру резиновым клеем, растворенным в бензине, битумом и просто без клея после разогрева паяльной лампой поверхности рубероида, в результате чего плавится находящийся на этой поверхности битум.

Склеивать с фанерой следует не покрытую слюдой или крошкой поверхность рубероида. Другую поверхность рубероида по декоративным соображениям хорошо оклеить тонким картоном, плотной оберточной бумагой (типа кабельной) или тонкой фанерой (0,5—1 *мм*), плотно сжав склеиваемые поверхности до полного высыхания клея или остывания (отвердевания) расплавленного битума.

В заключение следует указать, что выпускаемые для строительных целей древесно-волокнистые плиты являются хорошим поглотителем звука и могут с успехом применяться как звукопоглощающий материал, например, в фазоинверторах. Такие же древесно-волокнистые плиты толщиной 8—12 *мм*, покрытые тонкой фанерой, могут быть использованы для изготовления ящиков. Этот искусственный материал обладает более высоким декрементом затухания, чем дерево, и поэтому более надежен в смысле отсутствия дребезжания, чем равной толщины фанера.

РЕМОНТ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

Успешный ремонт и восстановление полной работоспособности поврежденных громкоговорителей, т. е. сохранение их первоначальных параметров или достаточное приближение к ним, зависят от квалификации и аккуратности мастера, от надлежащего выбора материалов для ремонта, а также от выполнения определенной технологии. Первое достигается практическим опытом, знанием общих вопросов работы громкоговорителей и точным представлением о назначении и конструкции каждого их узла и детали.

Ниже приводятся сведения о применяемых материалах и некоторые технологические рекомендации по ремонту диффузорных громкоговорителей в радиолюбительских условиях [1].

---

[1] Основные сведения и рецепты заимствованы из книги И. М. Болотникова „Громкоговорители для звукового кино", Госкиноиздат, 1952.

Материалы для ремонта. Ассортимент необходимых материалов невелик. Это клей, бумага, провода для обмоток и выводов, припой и некоторые подсобные материалы (нитки, картон, текстолит и т. п.).

Качество клея имеет особо важное значение для надежной работы громкоговорителя, так как он скрепляет между собой диффузор, центрирующую шайбу и звуковую катушку. Последняя, кроме того, при намотке пропитывается клеем, который должен надежно скреплять каждый виток между собой и каркасом. Таким образом, от клея в первую очередь зависит эксплуатационная надежность громкоговорителя, а потому он должен удовлетворять следующим требованиям:

1) переход клея из жидкого в твердое состояние должен происходить за короткий срок без повышения температуры и давления у склеиваемых деталей;

2) механическая прочность клея должна обеспечиваться не образованием поверхностной твердой пленки, а одновременным застыванием всего слоя;

3) переход из жидкого состояния в твердое не должен сопровождаться полной потерей эластичности;

4) добавление растворителя в клей для изменения степени его разжижения не должно заметно сказываться на механических и электрических свойствах последнего;

5) после перехода в твердое состояние клей должен быть температуроустойчивым и негигроскопичным;

6) должна быть обеспечена высокая электрическая надежность проклеенных деталей;

7) должна быть обеспечена одинаковая механическая прочность шва на стыке различных материалов.

Этим требованиям лучше всего удовлетворяет нитроклей (раствор нитроцеллюлозы в специальном растворителе). Из промышленных сортов наиболее пригоден нитроклей марки АК-20, который легко разжижается любым растворителем для нитролаков (например, тип РДВ или № 646). Для полного высыхания, т. е. для приобретения нужных механических свойств, этот клей требует сушки в нормальных условиях (без подогрева и давления) в течение 18—24 *ч* после окончательного наложения его на склеиваемые детали. При отсутствии клея АК-20 можно применять бесцветный цапон-лак.

Заменить готовый растворитель можно смесью из $^2/_3$ ацетона и $^1/_3$ амилацетата. Растворив в такой смеси целлюлозную пленку (кино, фото или рентгеновская плен-

ка), получим нитроклей. Хотя такой клей и растворитель хуже специальных, но в радиолюбительских условиях при ремонте громкоговорителей до 3—5 *ва* они могут применяться.

Следует предостеречь от применения всяких клеев типа бакелитовых, карбинольных, шеллачных и, конечно, от всяких суррогатных и других клеев, применяемых для столярных работ и склеивания бумаги; эти клеи непригодны даже для исправления дефектов в диффузорах. При мелком ремонте диффузоров и гофра допустимо применение обычного резинового клея.

Следующим по важности материалом для ремонта громкоговорителей является бумага. В зависимости от назначения необходимо располагать несколькими различными сортами бумаги.

Для изготовления каркасов звуковых катушек применяется кабельная бумага типа К-12 или пропиточная бумага толщиной 0,12 *мм*. Последняя имеет очень малый допуск по толщине (0,01 вместо ±0,07 *мм* для кабельной бумаги), что заставляет отдать ей предпочтение, хотя перед употреблением эту бумагу необходимо пропитать бакелитовым лаком. Для устранения мелких дефектов и разрывов в диффузорах и гофрах применяется диффузорная, фильтровальная или промокательная бумага толщиной 0,15—0,25 *мм*. Можно использовать и куски от старого негодного диффузора, предварительно расслоив их на 2—3 части. Для изготовления конуса диффузора применяют плотную бумагу типа ватман, а для менее мощных громкоговорителей (до 2—3 *ва*) — полуватман.

Намотка звуковых катушек производится медным обмоточным проводом с эмалевой лакостойкой изоляцией марки ПЭЛ. Номенклатура размеров проводов весьма небольшая (см. табл. 3), и потребность для одного громкоговорителя ничтожная (4—6 *м*). Использование для перемотки звуковой катушки старого провода от ремонтируемого громкоговорителя не рекомендуется из-за возможного нарушения при смотке целости изоляции. Применение провода с плохой или испорченной изоляцией приводит к образованию короткозамкнутых витков, совершенно не допустимых в звуковых катушках из-за резкого падения к. п. д. (отдачи) и изменения первоначальной частотной характеристики.

Для выводов звуковых катушек применяется специальный мишурный провод марки АТСКД. Можно применять и провода марок МГШД, МГШО и МГМ 20×0,05 или 15×

×0,07 (первое число — количество жил, второе — их диаметр). Допустимо также применение щеточного провода равного сечения. Необходимо только следить за тем, чтобы в употребляемом куске провода все жилы были хорошо скручены или сплетены. Необходимость в специальных проводах и тщательном соединении обусловливается тем, что эти выводы претерпевают при работе громкоговорителя сильную деформацию, потому что один их конец колеблется вместе с подвижной системой, а другой неподвижен (зажим или контактный лепесток).

Для намотки катушек возбуждения (подмагничивания) применяются те же марки проводов. В этом случае можно использовать и старый смотанный провод, если его изоляция не нарушена в результате сильного перегрева или механического повреждения.

Пайку проводов в громкоговорителях рекомендуется производить оловянно-свинцовым припоем марки ПОС-60 или ПОС-40.

Моточные работы. Намотку звуковой катушки необходимо выполнять очень тщательно с особым вниманием и аккуратностью. Прежде всего следует, хорошо размочив растворителем старый клей, осторожно снять старую обмотку. На каркасе не должно оставаться кусочков клея; все его остатки нужно тщательно смыть растворителем. Если это окажется затруднительным или будет замечено, что звуковая катушка повреждена, то нужно сделать каркас заново из соответствующей бумаги строго по размеру старого каркаса. При этом недопустимо образование утолщающего шва, для чего склеиваемые концы бумаги утоньшают (тонкой шкуркой или бритвой) или делают склейку без шва. Сохранение первоначальных размеров весьма важно как для последующей сборки всех деталей, так и для надлежащей работоспособности громкоговорителя.

Каркас звуковой катушки склеивается на болванке; на ней же производится и намотка. Болванка вытачивается из эбонита или твердых пород дерева (дуб, бук и т. п.); ее внешний диаметр должен быть выполнен с максимально возможной точностью, а поверхность хорошо обработана. Длина болванки должна значительно превышать высоту звуковой катушки. Для более удобного съема катушки болванку можно выполнить в виде полого цилиндра с толщиной стенки 1,5—2 *мм* и с продольным разрезом (по образующей) шириной 1—2 *мм* (можно разрезать ножовкой). При такой конструкции болванки катушку можно легко

снять, так как имеется возможность несколько сжать болванку по диаметру. При намотке, во избежание возможности самопроизвольного сжатия болванки от давления провода, в прорезь можно вставить полоску гетинакса или другого материала соответствующей толщины, которая не допустит деформацию. После намотки эта полоска легко может быть удалена из прорези.

Намотку катушки следует производить проводом точно такого же диаметра (с изоляцией), как и смотанный. Предварительно необходимо разметить на каркасе длину обмотки. Намотка катушки ведется непрерывно от начала до конца одним куском провода. Какие-либо соединения или спайки в звуковой катушке недопустимы. Намотав первый ряд (их обычно два), наносят на него тонкий слой клея. Чтобы клей хорошо покрыл всю обмотку, он должен быть жидким (густой клей образует крупные капли и потеки). Даже свежий фабричный нитроклей должен быть разжижен вдвое. Степень разжижения определяется по характеру скатывания капли с кисти (капля должна отрываться сразу, не вытягиваясь).

После намотки концы провода закрепляются, и вся поверхность обмотки покрывается ровным слоем клея. Наносить клей нужно мягкой кисточкой, все время вращая болванку. Чтобы избежать потеков, болванку необходимо после окончания проклеивания вращать еще 2—3 *мин*, чтобы дать клею немного застыть. Снимать звуковую катушку с болванки можно только через 45—60 *мин* после окончания намотки. При этом клей должен затвердевать в естественных условиях. Нельзя для ускорения процесса подогревать нитроклей; это вызовет ухудшение качества склейки. Чтобы предохранить возможное склеивание катушки с болванкой, последнюю перед намоткой смазывают жидким маслом (автол, машинное масло и т. п.), а после намотки удаляют растворителем клей, попавший с края каркаса на болванку. При съеме катушки следует быть осторожным и внимательным.

Намотка катушек возбуждения аналогична намотке силовых дросселей (для выпрямителей) и не требует соблюдения каких-либо особых приемов. При этом, как правило, необходимо сохранить первоначальные электрические данные обмотки (ее сопротивление и число витков). Для этого следует подобрать провод, точно соответствующий старому, или же использовать последний, если он хорошо сохранился и имеет немного обрывов (порядка 4—5). В процессе намот-

ки старым проводом нужно тщательно изолировать место спая оборванных концов и увеличить количество изоляционных прокладок между слоями обмотки. Для прокладок может применяться кабельная бумага К-08 (толщиной 0,08 *мм*), а также калька, вощанка, пергамент и т. п.

При отсутствии нужного провода его можно заменить двумя равными по суммарному сечению проводами, наматывая их параллельно друг другу. Это возможно, конечно, если заполнение каркаса обмоткой было не очень полным, так как такая замена провода приводит к увеличению объема обмотки. Для определения нужного для такой замены диаметра провода можно пользоваться следующим соотношением: $d_1=1,41d_2$ (где d_1 — диаметр старого провода, а d_2 — диаметр каждого провода для параллельной намотки).

Ремонт диффузора и центрирующей шайбы. Мелкие повреждения диффузора, например трещины или небольшие отверстия, устраняются при помощи заплаты, наклеиваемой жидким клеем, концентрация которого такая же, как и для проклейки звуковой катушки. Клей наносится на рваные края отверстий и прилегающую к ним часть диффузора; края сближаются и тщательно приглаживаются. При очень малых отверстиях и небольших трещинах, когда рваные края вплотную прилегают друг к другу, заплату можно ставить только с одной стороны; во всех других случаях ее ставят с обеих сторон. Вмятину вместе с прилегающей частью диффузора пропитывают клеем. При этом степень пропитывания должна уменьшаться к краям вмятины. Смятую вершину диффузора нужно тщательно и осторожно прогладить и также пропитать клеем.

Повреждения гофра в виде сквозных трещин или небольших отверстий устраняют таким же образом; следует только применить более тонкую бумагу и следить, чтобы заплата нигде не нарушала профиля гофра. Иногда происходит провисание гофра из-за несовершенства его профиля или хранения громкоговорителя в сыром месте. При этом гофр несколько распрямляется, но так как один его край закреплен на диффузородержателе, то происходит смещение второго края и диффузор опускается вниз, вызывая тем значительное смещение звуковой катушки в зазоре, что вызывает в свою очередь уменьшение к. п. д. (отдачи) и рост искажений. Попытаться исправить такой дефект можно следующим путем. Под центрирующую шайбу подкладывают вату так, чтобы звуковая катушка установилась в нормальное

положение, затем промачивают весь гофр теплой водой и просушивают его в теплом месте (например, на батарее центрального отопления или возле печки). Убрав вату и убедившись в неизменности положения звуковой катушки, включают громкоговоритель. Если после нескольких дней работы громкоговорителя положение звуковой катушки в зазоре не изменится, то, значит, ремонт прошел успешно. Однако иногда подобным путем восстановить громкоговоритель не удается, и тогда приходится заменять весь гофр.

Если диффузор очень сильно поврежден, то необходимо сменить весь его конус. Следует заметить, что в более мощных громкоговорителях (от 3—5 *ва* и выше), часто имеющих диффузор с криволинейной образующей, его смена, как правило, приводит к ухудшению параметров (главным образом частотной характеристики).

Чтобы изготовить новый конус, прежде всего из соответствующей бумаги делают заготовку, представляющую собой круг с вырезанным сектором (рис. 32). Размеры заготовки

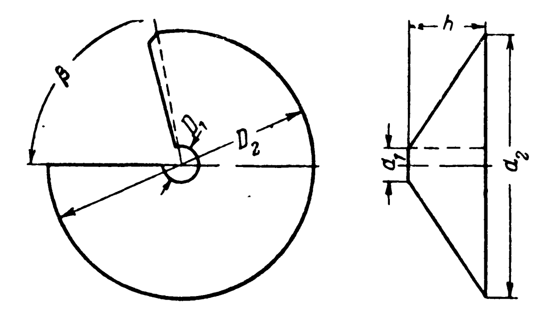


Рис. 32. Заготовка для конуса диффузора.

зависят от основных размеров заменяемого диффузора и рассчитываются по следующим формулам (обозначения по рис. 32):

$$D_1 = kd_1; \quad D_2 = kd_2.$$

Значение k, выражающее отношение соответствующих диаметров заменяемого диффузора и заготовки, берется из табл. 8, составленной для диффузоров с углом раскрытия α от 90 до 110°, причем исходной величиной является отношение разности диаметров основания и вершины $d_2—d_1$ к высоте h.

Вырезанную заготовку склеивают и полученный таким

Таблица 8

Значение величин, необходимых для получения размеров заготовки (к рис. 32)

α°	$\frac{d_2-d_1}{h}$	$k=\frac{D}{d}$	β°	α°	$\frac{d_2-d_1}{h}$	$k=\frac{D}{d}$	β°
90	2,00	1,411	105	102	2,47	1,287	80
92	2,07	1,391	101	104	2,56	1,269	76
94	2,14	1,363	97	106	2,66	1,252	72,5
96	2,22	1,346	92,5	108	2,75	1,236	69
98	2,30	1,324	83,5	110	2,86	1,221	65
100	2,38	1,305	84				

образом диффузор покрывают с обеих сторон нитролаком. Затем к вершине диффузора приклеивают звуковую катушку и центрирующую шайбу, а к его основанию — гофр старого громкоговорителя. В месте склейки нового диффузора и гофра ширина наложенных друг на друга конусных поверхностей (от основания нового конуса до линии отреза на старом диффузоре) должна составлять не менее 5—8 *мм*. При сильном повреждении старого гофра вместо него можно применить кольцевые полоски замши (целое кольцо или 3—4 сектора) или другой подходящий материал (текстиль, дерматин, клеенка).

Центрирующие шайбы наименее подвержены повреждениям, однако если они имеют надколы, трещины, провисания или покороблены, то их необходимо сменить. При повреждении фигурной шайбы, выполненной из картона или текстолита в виде «паука» или крестовины, нетрудно по старой шайбе сделать новую, подобрав, конечно, надлежащий материал. Хуже, когда повреждена бумажная литая или текстильная бакелизированная шайба. Такую шайбу при незначительных повреждениях (трещины или небольшие разрывы) можно заклеить так же, как это делается с гофром. При больших повреждениях ее придется заменить фигурной шайбой, изготовленной из текстолита или картона по какому-нибудь образцу с соответствующими размерами.

В заключение необходимо отметить, что приведенные выше рекомендации не могут охватить всего комплекса вопросов, которые, возможно, возникнут при ликвидации повреждений в громкоговорителях различных видов и типов. Их соблюдение, однако, позволит осуществить достаточно эффективный ремонт.

1 р. 50 к.